



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE SUELOS**



**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

**SISTEMA AGROFORESTAL COQUIA-MEZQUITE ESTABLECIDO EN
SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO**

**TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**



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

**PRESENTA:
MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ**

CHAPINGO, MÉXICO JUNIO DE 2012



**SISTEMA AGROFORESTAL COQUIA-MEZQUITE ESTABLECIDO EN
SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO**

Tesis realizada por *MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ HERNÁNDEZ*, bajo la
dirección del Comité Asesor indicado; aprobada por el mismo y aceptada como
requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

DIRECTOR:



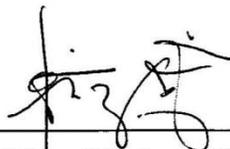
Dra. Elizabeth Hernández Acosta

ASESOR:



Dr. David Cristóbal Acevedo

ASESOR:



M en C Prócoro Díaz Vargas

DEDICATORIA

A mi madre: María Elena Hernández Bautista, por todo su amor comprensión y apoyo durante todas las épocas de mi vida.

A mis hermanos: Martha, Laura, Claudia, Jacqueline, Guadalupe, Gabriela, Jorge, Luis y muy en especial a Francisco que se nos adelantó, siempre está conmigo y algún día nos volveremos a ver.

A la familia Garay Hernández: por haberme brindado su confianza y apoyo, muy en especial a Martha Garay, con la cual espero compartir el resto de mi vida.

A mis sobrinos: Zara, Diego, Elizabeth, Alejandro y Gael los quiero mucho.

A todos mis compañeros y maestros de Agroforestería generación 2010-2011.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Por darme la oportunidad de cursar mis estudios de Maestría en Agroforestería.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado la beca para realizar mis estudios de Maestría.

A los productores del Distrito de Riego 028 (DR028). Por su colaboración y apoyo durante la realización de este estudio

A la Dra. Elizabeth Hernández Acosta. Por brindarme su amistad y excelente ejemplo con su experiencia académica y consejos para la mejora de esta tesis.

Al Dr. David Cristóbal Acevedo. Por darme la oportunidad de cursar la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible y por su excelente dirección durante la realización del presente trabajo de investigación.

Al M en C. Prócoro Díaz Vargas. Por su valiosa colaboración en la obtención del escrito final.

A mis compañeros de Maestría. Aiko, Cesar, Sofía, Manuel, Araceli, Mine, Noé, José Luis, Noemí, Ernesto, Ambrosio, Paloma, Yamili, Gerardo, y Nilze por brindarme su amistad.

DATOS BIOGRÁFICOS

Miguel Ángel Sánchez Hernández nació en México, Distrito Federal el día 7 de Enero de 1977. Hijo de María Elena Hernández Bautista e Ismael Sánchez Hipólito.

Miguel Ángel realizó sus estudios de primaria y secundaria en Huehuetoca Estado de México. Posteriormente en México, Distrito Federal ingresa al Centro de estudios de bachillerato Núm. 2 Jesús Reyes Herodes, inmediatamente después comienza sus estudios de biología en la Universidad Autónoma Metropolitana campus Xochimilco donde en el año 2007 se titula. A sido colaborador en proyectos tales como “Criterios e Indicadores para evaluar el desarrollo sostenible del bosque tropical del sureste mexicano” y “Desarrollo del plan rector de Amaranto” en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

En Enero del 2010, ingresó al programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible para realizar sus estudios de Maestría en la Universidad Autónoma Chapingo.

SISTEMA AGROFORESTAL COQUIA-MEZQUITE ESTABLECIDO EN
SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO

AGROFORESTRY SYSTEM KOCHIA-MESQUITE ESTABLISHED IN
SOILS IRRIGATION DISTRICT 028 TULANCINGO, HIDALGO

Sanchez-Hernandez, M. A.¹; Hernández A., E.²

RESUMEN

En el Distrito de Riego 028 (DR028) Tulancingo, Hidalgo, desde hace más de 50 años los agricultores utilizan aguas residuales para el riego de cultivos forrajeros. Específicamente, en el ejido San Nicolás Cebolletas, cuyo principal problema es el costo del bombeo para el riego, y en el ejido Santa Ana donde la salinidad de los suelos comienza a ser evidente en algunas parcelas. En respuesta a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar física y químicamente (de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000), los suelos para establecer un sistema agroforestal con una especie maderable y una agrícola, adecuadas a las condiciones que presenten. Paralelamente, se realizaron talleres participativos para involucrar y considerar la opinión de los productores en cuanto a la selección de las especies. Los resultados mostraron que los suelos no presentan deficiencias nutrimentales, pero los porcentajes de Materia Orgánica (MO) y el contenido de nitrógeno inorgánico (N) fueron bajos, la textura de los suelos fue franca y los contenidos de metales pesados fueron bajos. En esas condiciones, se propuso establecer el sistema agroforestal (coquia-mezquite) bajo el diseño de arboles en linderos. De acuerdo con los resultados obtenidos tanto del análisis de los suelos como el costo de instalación (\$ 5 890.00) y el rendimiento (46.70 t ha⁻¹) se concluye que la plantación agroforestal (coquia-mezquite), es aceptable técnicamente para éste tipo de suelos; además de mostrar beneficios ambientales y económicos.

Palabras clave: Aguas residuales, características físicas y químicas, coquia-mezquite, arboles en linderos.

ABSTRACT

In the Irrigation District 028 (DR028) Tulancingo, for more than 50 years, farmers have used wastewater for irrigation of fodder crops. Specifically, the ejido San Nicolas Cebolletas, which main problem is the cost of pumping for irrigation, and the ejido Santa Ana where the salinity of the soil begins to be evident in some plots. In response to this, the objective of this study was to characterize physically and chemically (according to NOM-021-RECNAT-2000), soils to establish a suitable agroforestry system with an agricultural and timber species, if the conditions arise. In line with this, participatory workshops were held to involve and consider the opinions' producers in the selection of species. The results showed that there is no nutrient deficiency in soils, but the percentages of organic matter (OM) and inorganic nitrogen (N) were low, the soil texture was open and the contents of heavy metals were low. Under these conditions, it was proposed to establish an agroforestry system (kochia-mesquite) in the design of trees in boundaries. According to the results obtained from the analysis of soils as the installation cost (\$ 5 890.00) and yield (46.70 t ha⁻¹) it is concluded that the agroforestry plantation (kochia-mesquite) is technically acceptable for this type of soil, besides showing environmental and economic benefits.

Keywords: Wastewater, physical and chemical characteristics, kochia-mesquite trees on boundaries.

¹Tesista

²Director

Contenido

RESUMEN	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURA	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Agroforestería.....	4
2.2 Linderos maderables	6
2.3 Distribución mundial del agua	8
2.4 Origen de las aguas residuales	8
2.5 Características de las aguas residuales	9
2.6 Uso de las aguas residuales en México	10
2.7 Uso de aguas residuales en el estado de Hidalgo	13
2.8 Uso de aguas residuales en Tulancingo.....	14
2.9 Problemática por el uso de aguas residuales en la agricultura	15
2.9.1 Contaminación de suelos.....	15
2.9.2 Contaminación de los cultivos y daños a la salud por patógenos	16
2.10 Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT's)	17
2.10.1 Origen y fuentes naturales de EPT's en suelos.....	17
2.11 Fuentes antropogénica.....	18
2.12 Modificaciones en las propiedades del suelo por el riego con aguas residuales	18
2.13 Suelos salinos	19
2.14 Mezquite <i>P. laevigata</i> (H.&B. ex Willd.) M.C. Johnst.	21
2.15 La coquia (<i>Kochia scoparia</i>)	23
3. OBJETIVOS	26
3.1 Objetivo General	26
3.2 Objetivos Específicos	26
4. MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1 Descripción de la zona de estudio.....	27
4.2 Localización.....	27
4.3 Clima	28

4.4 Hidrografía.....	29
4.5 Precipitación.....	30
4.6 Medio físico	30
4.6.1 Fisiografía y Orografía	30
4.6.2 Suelos.....	31
4.7 Uso de suelo	33
5 Métodos	34
5.1 Talleres Participativos	34
5.2 Delimitación de las unidades de muestreo	36
5.3 Muestreo de suelo.....	36
5.4 Transporte y preparación de la muestra.....	37
5.5 Análisis de las muestras en laboratorio	37
5.6 Análisis químico en suelos	37
5.7 Análisis físicos de los suelos	39
5.8 Selección de especies (forrajeras y forestales)	40
5.9 Coquia-mezquite	40
5.10 Plantación y siembra	41
5.11 El Mezquite <i>P. laevigata</i> (H.&B. ex Willd.) M.IC. Johnst.....	42
5.12 Siembra de la Coquia (<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad var. Esmeralda).....	42
5.13 Obtención del rendimiento de coquia	43
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
6.1 Talleres.....	45
6.2 Desarrollo y consolidación del módulo de riego	45
6.3 Distribución superficial del Módulo II	46
6.4 Proceso de producción de las praderas en el Modulo II.....	48
6.4.1 Establecimiento.....	48
6.4.2 Siembra	49
6.4.3 Aplicación de abonos.....	50
6.4.4 Aplicación de fertilizantes	50
6.4.5 Aplicación de riego.....	50
6.4.6 Control de malezas, plagas y enfermedades	54
6.4.7 Cosecha.....	55
6.5 Unidades de muestreo	56

6.6 Determinaciones químicas en suelo.....	57
6.6.1 pH.....	57
6.6.2 Conductividad eléctrica.....	58
6.6.3 Materia orgánica.....	59
6.6.4 Nitrógeno inorgánico.....	60
6.6.5 Fósforo asimilable.....	61
6.6.6 Potasio.....	62
6.6.7 Calcio y magnesio.....	63
6.6.8 Micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn).....	64
6.6.9 Boro.....	65
6.6.10 Textura.....	66
6.7 Elementos Potencialmente Tóxicos (Pb, Cd, Cr).....	67
6.8 Establecimiento del sistema coquia-mezquite.....	68
6.9 Costo de establecimiento del sistema Agroforestal, Coquia-Mezquite.....	70
7. CONCLUSIONES.....	73
8. RECOMENDACIONES.....	74
9. LITERATURA CITADA.....	75
10. ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE CUADROS

1. Distritos de riego en México que utilizan aguas residuales.	12
2. Principales características de la unidad Regosol en el DR 028	
Tulancingo, Hidalgo.....	32
3. Principales características de la unidad Vertisol en el DR 028	
Tulancingo, Hidalgo.....	33
4. Distribución superficial del módulo II del distrito de riego 028 Tulancingo,	
Hidalgo.....	47
5. Características químicas del suelo de las parcelas en el DR 028	
Tulancingo, Hidalgo.....	63
6. Contenido de micronutrientes de las parcelas en el DR 028 Tulancingo,	
Hidalgo.....	66
7. Clase textural de las parcelas en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.	67
8. Costo de establecimiento de 1 ha de sistema Agroforestal coquia-	
mezquite en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.....	70

ÍNDICE DE FIGURA

1. Ubicación del DR 028 Tulancingo, Hidalgo.....	28
2. Distribución mensual de la precipitación en DR028 Tulancingo, Hidalgo.	30
3. Método del cuarteo.	36
4. Plantación del mezquite en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.	42
5. Siembra de la coquia, en el Jagüey del Cerro en el DR028 Tulancingo, Hidalgo.	43
6. Toma de muestras para la obtención del rendimiento en el Jagüey del Cerro en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.	44
7. Zonas de estudio en el Distrito de Riego 028, Tulancingo Hidalgo.....	47
8. Riego por gravedad en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.....	51
9. Cárcamo y riego rodado con bombeo en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.	52
10. Cambios en el precio del agua de riego en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.	53
11. Herramientas para corte	55
12. Diseño espacial de la plantación agroforestal de acuerdo con las especies de árboles y cultivo agrícolas en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.....	69

1. INTRODUCCIÓN

El Distrito de Riego 028 (DR 028) Tulancingo, Hidalgo, desde hace aproximadamente 50 años hace uso de aguas residuales para el riego agrícola, estas pueden constituir una alternativa en las zonas semiáridas donde hay escases de este recurso, no solo por ser una fuente de agua para los cultivos, sino por el aporte de nutrientes que mejoran la fertilidad del suelo, dado los altos contenidos de materia orgánica usualmente presentes en la misma (Simonete *et al.*, 2003). No obstante, su uso sin tratamiento previo puede ocasionar problemas debido al alto contenido de sales, contaminación con metales pesados y la presencia de algunos microorganismos patógenos para el hombre (Zamora *et al.*, 2008).

En América Latina más de 500 000 ha agrícolas son regadas directamente con aguas residuales sin tratar, se ha identificado como principales países a México con alrededor de 350 000 ha, además en las áreas de temporal, aproximadamente 1.25 millones de hectáreas muestran algún grado de salinización que va desde leve hasta severo (Veliz *et al.*, 2009).

En México existen alrededor de 540 mil hectáreas de suelos agrícolas bajo riego afectados por la salinidad, además en las áreas de temporal, aproximadamente 1.25 millones de hectáreas muestran algún grado de salinización que va desde leve hasta severo (Díaz, 1995).

Cabe mencionar que los efectos negativos de la salinización se concretan en la disminución del rendimiento de los cultivos y de manera puntual en la incapacidad del suelo para la producción (Ajuacho *et al.*, 2003). Por lo anterior, es necesario realizar acciones adecuadas y oportunas en relación al mantenimiento y recuperación de la fertilidad de los suelos, cuando estos son regados con aguas de mala calidad (Flores *et al.*, 1996).

La ubicación geográfica de México, su diversidad climática, de suelos, de condiciones fisiográficas y ecológicas presentan una gran diversidad de condiciones para el establecimiento de plantaciones forestales; que son en sí mismas una alternativa para el desarrollo económico y social, incrementándose cuando las especies maderables son insertadas como componente forestal en sistemas de producción agrícolas o ganaderas (López-Sánchez *et al.*, 2007).

La inclusión de árboles en los sistemas de producción agrícola o pecuaria se denomina sistemas agroforestales. Estos sistemas aprovechan y optimizan la superficie productiva conservándola y mejorándola, participando con ello en el desarrollo económico y social (López-Sánchez *et al.*, 2007).

La agroforestería es uno de los principales métodos biológicos para la conservación del suelo y agua, ya que es una tecnología efectiva para reducir la degradación de suelo y para disminuir la inclinación de la pendiente (Young, 1997).

Por lo tanto este trabajo de investigación se realizó con el objetivo de Caracterizar física y químicamente suelos regados con aguas residuales para proponer un Sistema Agroforestal (SAF) con una especie maderable y una agrícola, adecuadas a las condiciones que presenten los suelos del DR028, Tulancingo, Hidalgo.

En el aspecto de suelos salinos y con problemas para el riego se incluyen variedades y genotipos con características de tolerancia a la salinidad, sequías y potencial agropecuario o forestal. El presente trabajo propone el establecimiento de coquia (*Kochia scoparia* (L.) Schrad) como un genotipo halófito de excelente calidad forrajera y con rendimiento comparable a la alfalfa, y al mezquite (*P. laevigata* (H.&B. ex Willd.) M.C. Johnst.) como una opción para contribuir al cultivo en suelos salinos y suelos donde el riego se dificulta debido a la topografía del lugar.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Agroforestería

Agroforestería se refiere a sistemas y tecnologías de uso del suelo en los cuales las especies leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas, etc.) se utilizan deliberadamente en el mismo sistema de manejo con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal. En los sistemas agroforestales existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes. El propósito es lograr un sinergismo entre los componentes el cual conduce a mejoras netas en uno o más rango de características, tales como productividad y sostenibilidad, así como también diversos beneficios ambientales y no-comerciales. Como ciencia, es multidisciplinaria y a menudo involucra, o debe involucrar, la participación de campesinos o agricultores en la identificación, diseño y ejecución de las actividades de investigación (ICRAF, 1996; Nair, 1993).

Si bien son varias las definiciones de Agroforestería o de Sistemas Agroforestales, todas ellas propenden a un manejo integrado de todos los recursos productivos que existen en una unidad de terreno.

Los sistemas agroforestales se orientan a permitir actividades productivas en condiciones de alta fragilidad, con recursos naturales degradados, mediante una gestión económica eficiente, alterando al mínimo la estabilidad ecológica, lo cual contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y, como consecuencia, mejorar el nivel de vida de la población

rural. En consecuencia, persiguen objetivos tanto ecológicos como económicos y sociales (ICRAF, 1996; Nair, 1993).

La característica principal de los Sistemas Agroforestales es su capacidad de optimizar la producción del territorio (unidad predial) a través de una explotación diversificada, en la que los árboles cumplen un rol fundamental. Este rol se ve reflejado en que los árboles pueden proveer muchos productos tales como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, medicina, cosméticos, aceites y resinas entre otras. Por otra parte, los árboles son proveedores importantes de servicios como seguridad alimenticia, conservación de suelos, aumento de la fertilidad del suelo, mejora del microclima, cercos vivos para los cultivos y árboles frutales, demarcación de límites, captura de carbono, estabilización de cuencas, protección de la biodiversidad, recuperación de tierras degradadas y control de maleza (ICRAF 1997).

Los objetivos o beneficios de un Sistema Agroforestal pueden ser diferentes para cada situación y región del mundo pero, algunos de estos son ampliamente reconocidos, como: mejor protección y mejoramiento del suelo; más de un tipo de cosecha o producto para los propietarios, lo cual le asegura una mayor estabilidad y retornos económicos en el mediano y largo plazo; obtención de subproductos como, leña, postes, miel y otros, que mejorara la calidad de vida de los propietarios; dado el reconocido aumento en la eficiencia biológica del sistema, ayudará a un incremento de la

productividad no solo para un granjero, sino que para toda la comunidad o región.

2.2 Linderos maderables

Los linderos maderables son siembras de arboles en línea en los límites de parcelas agropecuarias o fincas con el objetivo principal de producir madera o postes (CATIE, 1998).

Rojas (2004), los definen como sectores que delimitan las fincas de las propiedades vecinas; o áreas internas de cultivos pero que además actúan como barreras rompevientos, cercas vivas, y a su vez sirven como una estrategia para la obtención de productos madereros de interés (madera y postes) y productos forestales derivados (leña, polen, belleza escénica, alimento para la fauna, etc.), entre otros bienes.

La siembra de árboles maderables o frutales en linderos, a diferencia de las plantaciones forestales puras, representan una alternativa que debe ser valorada por el productor en términos económicos.

En un sentido estricto, los linderos pueden definirse como los límites espaciales de una propiedad. Ellos definen el dominio espacial del inmueble y por tanto enmarcan las posibilidades de realización que su propietario pueda organizar y desarrollar con cierta independencia, en consideración de su libre albedrío. En el caso de las propiedades dedicadas a la realización de actividades forestales, agrícolas o ganaderas, la delimitación de los linderos

reviste especial importancia, según se le considere social o productivamente (CATIE, 1998).

Desde el punto de vista social, los linderos establecen las relaciones entre el propietario del inmueble y sus vecinos, lo cual exige límites claramente definidos, para que las relaciones entre diferentes propietarios sean armónicas, de acuerdo con los preceptos de respeto mutuo y delimitación de actividades (CATIE, 1998).

Los linderos se pueden demarcar de diferentes formas, para responder plenamente a las actividades que el propietario o finquero realice. De esta manera, los linderos se demarcan simplemente por mojones, carriles desnudos de vegetación, cercos con alambres de púas sostenidas por postes de madera, concretas o arbustos y árboles. Cuando el propósito principal de sembrar árboles y arbustos es de sostener el alambre, se les denomina cercos vivos (CATIE, 1998).

Las cerca viva consiste en establecer un límite plantando una línea de arboles o arbustos las que pueden ser: especies forestales o leguminosas. Constituyen un mecanismo para reducir la presión sobre el bosque por medio de la obtención de postes leñas de igual forma proporciona forraje para el ganado (Harvey, 2003). La función principal que se le atribuía a la cerca viva ha sido la delimitación de las propiedades y la protección contra los daños de los animales y los vientos fuertes (Ramírez, 2005).

2.3 Distribución mundial del agua

Jiménez (2002), menciona que en 1990, la cantidad de agua en el mundo era de aproximadamente 1 385 000 000 km³, de los cuales el 97.3% era salada, 2.08% se encontraba congelada en los polos y que solo una pequeña parte estaba disponible para cubrir las necesidades del ser humano. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o vuelve imposible su utilización efectiva (CONAGUA, 2008).

Granados y Pérez (1995) señalaron que la distribución y consumo del agua en el mundo no es la misma, porque una persona, depende del país de origen gasta cierta cantidad de agua al día en actividades cotidianas como beber, regar el jardín, lavar el automóvil, limpiar su hogar, en el excusado, en el cuarto de baño, etc. Por lo que concluyen, que el destino que lleva el uso del agua, hace que esta sea un recurso muy importante, cuyo cuidado debe considerarse, sobre todo, en donde ya existe escasez.

2.4 Origen de las aguas residuales

Romero (1999), señala que el agua representa uno de nuestros más preciados recursos, pues, además de ser indispensable para todos los seres vivos y de formar parte de la materia viva, es utilizada casi en todas las actividades humanas. La escasez cada vez mayor de las aguas dulces debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y probablemente, a los cambios climáticos, ha dado lugar al uso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otras áreas.

En algunos casos, las aguas residuales son el único recurso hídrico de las comunidades pobres que subsisten por medio de la agricultura. Si bien el uso de aguas residuales en la agricultura puede aportar beneficios (incluidos los beneficios de salud como una mejor nutrición y provisión de alimentos para muchas viviendas), su uso no controlado generalmente está relacionado con impactos significativos sobre el medio ambiente y la salud humana.

2.5 Características de las aguas residuales

También menciona que la generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana y su origen puede ser muy diverso, hay cuatro fuentes de aguas residuales: Aguas domesticas o urbanas, aguas residuales industriales, aguas de usos agrícolas, aguas pluviales. Aunque la mayor parte de las aguas servidas (cerca del 90%) provienen del uso domestico e industrial, las de usos agrícolas y pluviales urbanas, adquieren cada día mayor importancia, debido a que los escurrimientos de fertilizantes (fosfatos) y pesticidas representan los principales causantes del envejecimiento de lagos y pantanos proceso llamado eutrofización. El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, heces, material vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos.

2.6 Uso de las aguas residuales en México

El uso de aguas residuales para el riego de cultivos es cada vez más común. El rendimiento de los cultivos es superior, ya que las aguas residuales contienen nutrientes para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, existe el riesgo de que el riego con aguas residuales facilite la transmisión de enfermedades relacionadas con nematodos intestinales y bacterias fecales a consumidores y agricultores (López, 2005). El uso de las aguas residuales tratadas puede ser muy diverso pues además de ser empleadas en el sector agrícola, en muchas partes este tipo de agua es utilizada en el riego de áreas verdes, urbanas, zonas deportivas, alimentación de lagos de ornato y de recreación. También en el área industrial así como otro sector productivo de alimento como la acuicultura; siempre y cuando reciba un tratamiento que asegure la calidad que requiere esta actividad (Zamora *et al.*, 2008). Se estima que a nivel nacional, se están regando con aguas residuales alrededor de 350,000 ha con un volumen de $160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de aguas de origen municipal, algunas mezcladas con aguas superficiales o subterráneas y otras de origen industrial. De esta área, en abril de 1991, se tenían identificadas 24,100 ha sembradas con cultivos restringidos como son hortalizas y algunos frutales que se consumen en crudo (Sancho, 1992).

Otras zonas que aprovechan las aguas residuales de manera importante en la agricultura prácticamente sin ningún control sanitario son: Aguascalientes, Chihuahua, Comarca Lagunera, Durango, Ciudad Juárez, León, Monterrey, Morelia, Ciudad Obregón y Puebla (CONAGUA, 2008). Actualmente muchas de las zonas de producción hortícola en México hacen uso de las aguas

residuales, así atienden a las necesidades que se tienen por este recurso, para tal fin se destinan grandes volúmenes de agua sin reconocer el uso consuntivo que requieran, así como también los efectos que se tienen sobre el suelo y las plantas (Cortés *et al.*, 1993). La agricultura bajo riego en México ha sido siempre frenada por la falta de coincidencia entre la disponibilidad de agua y tierras propicias. Sin embargo, las condiciones climáticas, la aridez y las condiciones orográficas que presenta el país provocan la necesidad de regar las superficies sembradas (IMTA, 2001).

Resulta contradictorio el problema existente en muchas zonas agrícolas del país en materia de uso y suministro de agua, la cual está limitada y es insuficiente, pues el mal uso que se hace de ella origina que después de un primer uso ya no sea utilizada nuevamente y se conciba como producto de desecho conocido comúnmente como agua negra (Zamora *et al.*, 2008). Para 2001 se tiene conocimiento que a nivel nacional ocho distritos de riego, (Cuadro 1), hacen uso de las aguas residuales para la agricultura. En el siguiente cuadro se observa que el distrito con mayor superficie es el 03 de Tula, en donde las aguas residuales que reciben se destinan al riego de forrajes, granos y hortalizas cuya producción abastece en gran medida al mercado de la zona metropolitana (central de abastos), principal distribuidor de alimentos de la población del Distrito Federal, por lo que el gobierno en la NOM-CCA-033-ECOL/1993 restringe el tipo de cultivos regados con aguas residuales.

Cuadro 1. Distritos de riego en México que utilizan aguas residuales.

Numero de distrito	Nombre del distrito	Estado	Área regada (ha)
03	Tula	Hidalgo	45, 214
09	Cd. Juárez	Chihuahua	16, 000
016	Morelos	Morelos	35, 188
028	Tulancingo	Hidalgo	1, 178
030	Valsequillo	Puebla	33, 820
052	Durango	Durango	20, 944
088	Chiconautla	México	4, 398
100	Alfajayucan	Hidalgo	31, 482
Total			188,0224

Fuente: IMTA, 2001

El agua residual en los Distritos de Desarrollo Rural en México representan una fuente importante de reusó, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, donde el recurso agua actúa como factor limitante tanto en calidad como en cantidad. En resumen, a medida que la demanda de agua se incrementa, el riego con agua residual se convierte en un importante componente que debe considerarse dentro de la planeación y desarrollo total del recurso (Cámara y Alberto, 1994).

Reyes (1983), llegó a la conclusión, que el uso de aguas negras, urbanas y municipales en la irrigación de cultivos es una de las alternativas para disponer de más agua en las regiones áridas y semiáridas.

Según De la Parra y Rodríguez (1991), las aguas residuales de una ciudad son un recurso fundamental en el contexto urbano, pues los nutrientes que llegaron en forma de alimento a las ciudades y que se alojan en las aguas residuales, no solo se han desperdiciado al no aplicarse para el riego urbano, sino que son un componente importante en la eutrofización de cuerpos de agua superficial y subterránea en toda la República Mexicana,

donde son depositadas. Por ello, no existe justificación alguna para que no se adecúe la infraestructura urbana para administrar correctamente dicho recurso. Durán y Hernández (1992) hacen énfasis que las aguas residuales sin previo tratamiento se han utilizado con fines agrícolas en el Distrito de Desarrollo Rural 03, el cual es reconocido como el más grande del mundo con 85,000 ha aproximadamente y cuyo crecimiento para el año 2000 se estima sea de 150,000 ha bajo riego, pero datos de la CONAGUA (2008), dicen que la superficie solo aumentó 7 % para el 2008. Otras zonas que aprovechan aguas residuales se encuentran en los estados de Morelos, Nuevo León, Puebla, Tlaxcala, Jalisco, B.C. Norte, Michoacán, Estado de México y San Luis Potosí.

2.7 Uso de aguas residuales en el estado de Hidalgo

El mayor aprovechamiento de aguas residuales en la agricultura se realiza en los Distritos de Riego 03 y 100 (Tula y Alfajayucan, respectivamente) ubicados en el Valle del Mezquital, Hidalgo, donde se tiene registro que desde hace 120 años se empezaron a utilizar aguas residuales proveniente de la zona metropolitana de la Ciudad de México. En la actualidad la superficie cultivada es de 91 036 ha y se producen cultivos y forrajes como maíz, hortalizas, pastos, etc. Cada año se incrementa la disponibilidad de agua residual y la superficie regada (CONAGUA, 2008).

2.8 Uso de aguas residuales en Tulancingo

Uno de los problemas más graves a los que se enfrenta la sociedad en la actualidad, es la contaminación del medio ambiente, y en particular del agua. El deterioro ambiental afecta directamente al ser humano y lleva consigo a grandes problemas: la pérdida de recursos naturales, incremento de enfermedades en la población y cambios climáticos, entre otros. Aunque en el municipio, la contaminación del agua no adquiere todavía las dimensiones de los problemas que se tienen en las grandes ciudades del país, no se debe dejar de pensar que existen elementos contaminantes que si no son atendidos con destreza se pueden convertir en un problema difícil de solucionar.

La infraestructura sanitaria de la cabecera municipal de la ciudad de Tulancingo se compone de un sistema mixto de drenaje sanitario, combinado con algunas alcantarillas para el drenaje pluvial. En conjunto debe considerarse insuficiente por tres razones: cobertura, capacidad y desarticulación: en primer lugar, la cobertura no es total, pues hay zonas sin red de drenaje. En segundo término, la red no tiene la capacidad para conducir tanto aguas pluviales como residuales. Por esta razón, durante la temporada de lluvias suelen inundarse algunas zonas, al brotar el agua de las atarjeas públicas y aún al interior de las propias viviendas. En tercera instancia, la propia red de drenaje está desarticulada y es insuficiente (Plan de Desarrollo Municipal 2006-2009). Se tiene registro que desde hace 50 años aproximadamente, el DR 028 hace uso de aguas residuales para el riego de 997 ha de tierras de cultivo, entre los cuales se encuentran

principalmente cultivos forrajeros como alfalfa, pastos y maíz. Hoy ocupa el tercer lugar en cuanto a superficie regada con aguas residuales del estado de Hidalgo (CONAGUA 2009).

2.9 Problemática por el uso de aguas residuales en la agricultura

El uso de aguas residuales para el riego de cultivos es cada vez más común, sobre todo en zonas áridas y semiáridas. Los rendimientos de los cultivos son más elevados, ya que las aguas residuales no sólo contiene el agua para el crecimiento de los cultivos, sino también los nutrientes de las plantas (principalmente nitrógeno y fósforo). Sin embargo, existe el riesgo de que el riego con aguas residuales pueda facilitar la transmisión de patógenos y la movilidad de elementos potencialmente tóxicos (Zamora *et al.*, 2008).

Se tiene registro de que la práctica de regar con aguas residuales trae beneficios en la producción, pero también se presentan algunos problemas como:

1. Contaminación de los suelos.
2. Contaminación de productos cultivados.
3. Daños a la salud de la población debido a organismos patógenos.

2.9.1 Contaminación de suelos

Aunque sabemos que el uso de aguas residuales en riego agrícola presenta ventajas como el incremento de nutrimentos como nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, además de proporcionar humedad a los cultivos, también

se presentan desventajas cuando su uso es inadecuado o no se consideran las condiciones del suelo en los que serán vertidas. Otra forma de contaminación al suelo por el uso de aguas residuales es la posible acumulación de metales pesados y la salinización de éste (Montoya, 2010).

Carrillo *et al.* (1992), Señalan que el uso de aguas residuales en el Valle del Mezquital provocan la introducción de los siguientes metales pesados al suelo: Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cadmio Cd, Níquel (Ni), Cobre (Cu), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) en diferentes concentraciones, mismos que al ser comparados con las valores de los metales pesados encontrados en el agua de pozo, los primeros superan a los segundos en más de diez veces su concentración.

2.9.2 Contaminación de los cultivos y daños a la salud por patógenos

Respecto al tipo de cultivos que pudieran regarse con aguas tratadas se sabe que los frutales debido a su alta sensibilidad a ciertos elementos como boro, cloro y sodio se encuentran "prohibidos" en las zonas irrigadas con aguas que contengan altas concentraciones de los elementos antes mencionados. Las hortalizas tienen un mayor rango de tolerancia a las aguas residuales, sin embargo, muchas de ellas que poseen contacto directo con el agua residual, como es el caso de lechuga, zanahoria, betabel y rábano, entre otras, pueden llegar a contaminarse con metales pesados y organismos fitopatógenos (como la *Erwinia spp.*) y las bacterias entéricas, que son aquellas que se encuentran en los intestinos del hombre y le causan enfermedades gastrointestinales (Sáenz, 1998).

2.10 Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT's)

Los EPT's son aquellos que se encuentran involucrados en procesos bioquímicos y toxicológicos (Tiller, 1989). Para su mejor ubicación son todos aquellos metales de la tabla periódica con un número atómico mayor a 20, excluyendo los metales alcalinos y los alcalinotérreos. Este término se utiliza para clasificar a los metales que son contaminantes ambientales en los que se encuentran: Pb, Cd, Cu, Zn y Ni.

Algunas de las principales características son: tener una densidad igual o mayor a la del hierro (g cm^3), que tengan brillo, sean dúctiles y maleables. Hay tres formas principales a través de las cuales los metales pesados pueden causar algún efecto en un organismo. La primera vía es por medio de la deposición atmosférica en cuerpos de agua y suelo, el segunda es por beber agua contaminada o por su uso en la cocina y la irrigación de cultivos, y la tercera es a través de la acumulación en la cadena alimenticia (Bradl, 2005).

2.10.1 Origen y fuentes naturales de EPT's en suelos

Según Gómez (2002), existen dos fuentes de los metales pesados en el suelo, la natural y la antropogénica. Los metales pesados contenidos en el material original o al meteorizarse, se concentran en los suelos. Concentraciones muy altas en los suelos pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y causar efectos tóxicos para los animales que las consumen. También se debe considerar las actividades volcánicas, que

emiten metales pesados como: Arsénico (As), Mercurio (Hg), Selenio (Se) (Bradl, 2005).

2.11 Fuentes antropogénica

Las actividades humanas han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de metales en los suelos, las principales fuentes son:

Productos químicos agrícolas, al añadir los fertilizantes y plaguicidas de manera directa o indirecta, gran parte del producto se pierde por infiltración en el suelo, esto da como resultado la acumulación de estos productos; lo que provoca la alteración de la microfauna del suelo y toxicidad (Andrade, 2000).

Los residuos sólidos urbanos y las aguas residuales contienen todo lo que a nivel doméstico se desperdicia, además durante el tratamiento depurador del agua residual, muchos de los posibles contaminantes se van concentrando en el lodo, por ello es lógico que presentaran elevadas concentraciones de metales pesados que pueden producir efectos fitotóxicos en los cultivos, suelos y aguas (Andrade, 2000).

2.12 Modificaciones en las propiedades del suelo por el riego con aguas residuales

El uso de aguas residuales en la agricultura puede aumentar el ingreso de materia orgánica y nutrientes a los suelos cultivados, lo cual contribuye a

mantener e incrementar la fertilidad del mismo, pero también puede traer efectos ambientales nocivos que deterioran la calidad del suelo. Es decir, la dinámica de la materia orgánica en el suelo es importante ya que su descomposición influye en la liberación de moléculas orgánicas e inorgánicas enlazadas a ella (Zamora *et al.*, 2008). Por tanto, la entrada del lodo de aguas residuales por varios años puede modificar las características químicas y de la fertilidad del suelo (Soler *et al.*, 2002).

El ambiente refleja la influencia humana a través de deforestación, prácticas de encalado, uso de fertilizantes y compostas, eliminación de basuras urbanas y radioactivas, cambios de uso del suelo, conversión a áreas urbanas y agropecuarias, reciclaje de aguas municipales, y manejo inadecuado de suelo y agua (Egide *et al.*, 2001). Lo anterior acelera los cambios físicos y químicos del suelo en pH, salinización, alcalinización e incrementos en contaminantes. Dentro de estas actividades humanas, la generación de aguas residuales causa cambios sustantivos en las propiedades del suelo (Zamora *et al.*, 2008).

2.13 Suelos salinos

La salinidad de los suelos puede ser de origen natural (primaria) o inducida por el hombre que transforma los ecosistemas (secundaria). Esta última se produce, fundamentalmente, por el mal uso en las prácticas de manejo del suelo y del agua de riego (Dregne *et al.*, 1995).

Los suelos salinos, contienen concentraciones excesivas de sales solubles (cloruros, sulfatos, etc.), para los fines agrícolas estos suelos representan un gran problema que requiere de medidas especiales y prácticas de manejo adecuadas (Layne, 2007).

Los suelos salinos se encuentran distribuidos por todo el mundo y se caracterizan por drenajes deficientes y un manto mineralizado muy cercano a la superficie. Esto limita la utilización del riego y la aplicación de técnicas de lavado (Szabolcs 1990).

El problema de salinización de suelos en México está presente en las áreas de riego y constituye una amenaza potencial por la tasa de afectación con que está avanzando. Las tres causas principales son: el uso de aguas de baja calidad, baja infraestructura de drenaje y el deficiente manejo del agua de riego.

Cabe mencionar que los efectos negativos de la salinización se concretan en la disminución del rendimiento de los cultivos y de manera más drástica en la incapacidad del suelo para el cultivo de manera irreversible (Ajuach, *et al.*, 2003).

La salinidad del suelo puede expresarse como la cantidad de sales disueltas en un volumen de solución (g L^{-1}) y por valores de conductividad eléctrica (Pizarro 1985). Esta última es la más utilizada actualmente (Kijne *et al.*, 1998) y se refiere a la concentración total de sales que se encuentra en la

solución del suelo, expresada como extracto de saturación del suelo. Según este último concepto, se consideran suelos salinos los que presentan una conductividad eléctrica de 4 S m^{-1} o más (Cramer 1993).

2.14 Mezquite *P. laevigata* (H.&B. ex Willd.) M.C. Johnst.

Los mezquites son plantas arbóreas o arbustivas que habitan en las zonas áridas, semiáridas y subtropicales de diferentes partes del mundo. Son miembros de la familia *Leguminosae*, de la subfamilia *Mimosoideae* y del género *Prosopis*, el que incluye aproximadamente 40 especies.

Los mezquites se encuentran firmemente establecidos en más de 3.5 millones de hectáreas del norte de México e incluye aproximadamente 10 especies autóctonas. *Prosopis laevigata* var. *laevigata*, es el mezquite típico del Centro de México además, es la especie dominante en Zacatecas, San Luis Potosí y centro y sur de Tamaulipas. Se distribuye en las isoyetas 300 a 900 mm, y en altitudes hasta de 2500 msnm. Se presenta en forma de árboles con altura de 6 a 7 m, así como arbustiva de 2 a 3 m; de su madera se fabrican muebles, puertas, carretas, artesanías y juguetes. También se le utiliza como combustible y sus frutos se emplean intensivamente como forraje para ganado; el fruto también es consumido como alimento por los habitantes de la región (Maldonado y De la Garza, 2000).

El follaje del mezquite al igual las vainas son consumidas por el ganado, especialmente durante la sequía o escasez de otros forrajes. Anualmente en el país son colectadas en poblaciones naturales miles de toneladas, y

vendidas como forraje o concentrado en raciones para el ganado (Felker, 1981). Solo en el área de Matehuala, S.L.P. se cosechan de 1 500 a 2 000 toneladas en 1965 se colectaron 43 000 toneladas en 9 estados del país (Maldonado y De la Garza, 2000).

Las vainas de los diferentes *Prosopis* tienen valores de proteínas que varían de 9 a 17 % según la especie, mientras que la semilla posee de 55 a 59%; respecto al contenido de azúcares varía desde el 15 al 40% (Odul *et al.*, 1986).

Los mezquites son tolerantes a salinidad y poseen la capacidad para fijar el nitrógeno. Se ha recomendado el cultivo y mejoramiento del mezquite para producción de forraje y madera, mientras que la FAO sugiere su uso para la reforestación de zonas áridas y semiáridas, y para mejorar la calidad de la vida rural (FAO/CIRF, 1980).

El método para propagar el mezquite, comúnmente y por lo regular de manera natural, es a través de semilla botánica, que pasó por el tracto digestivo de algún animal doméstico o silvestre que consumió las vainas, sin embargo la latencia que presenta esta semilla obstaculiza una rápida germinación. Entre los factores que impiden su germinación se encuentra el endocarpio del fruto, el que se considera una barrera natural que le imprime un estado de latencia natural que evita su germinación hasta por varios años (García *et al.*, 2000).

A través de métodos artificiales es posible eliminar esta barrera natural de la semilla con el fin de inducir su germinación. Las técnicas que se emplean para escarificar semillas de especies que presentan dormancia son; la abrasión, el uso de sustancias químicas, acción hídrica el tratamiento microbiológico y el paso a través del tracto digestivo de animales (Camacho, 1994).

2.15 La coquia (*Kochia scoparia*)

La coquia (*Kochia scoparia*) es una planta halófito, como el tamarix, el romerito y el pasto salado, se desarrolla bien en salinidades menores a 25 S m⁻¹, es capaz de soportar descensos de la humedad del suelo hasta - 23.5 bares sin marchitarse. Además, la Coquia (*Kochia scoparia*) con una producción de 25 t ha⁻¹ de materia seca, extrae 8 t ha⁻¹ de sales, lo cual la presenta como mejorador de suelos salinos. El uso consuntivo de la Coquia (*Kochia scoparia*) durante su ciclo vegetativo (70-80 días) es de 250 a 350 mm de lámina de agua (Anaya, 2004).

La coquia es originaria de la depresión salina de Barabinskaya, Novosibirsk en la región centro-sur de Asia y se estableció en América a principios de 1900. Fue reconocida en Dakota del Sur, Iowa y Kansas en 1930; se cultivó en Colorado a finales de 1930 y a principios de 1940, fue introducida en América del Norte como planta ornamental y en México es utilizada como forraje desde hace más de veinte años. Está reconocida como planta forrajera en diferentes países, entre ellos Australia, Argentina, Canadá,

Estados Unidos, Israel, Italia, Reino Unido, España, México, etc. (Anaya, 1992).

Es una planta dicotiledónea, anual, de la familia *Quenopodiaceae*. Una de las características de la coquia es que incorpora el bióxido de carbono a través de la vía C-4 (Sánchez, 1994). Los rangos de clima en los que se adapta varían de secos a subhúmedos, con precipitaciones entre 217 y 1418 mm anuales, y variaciones de temperatura media anual entre 12,7 y 28, 0 °C. Se encuentra en altitudes desde 0 m, hasta 4000 m (Anaya, 1996).

A medida de que el suelo es más salino y sódico, los balances iónicos de la planta favorecen la reducción de los oxalatos, por tanto la coquia encuentra en este tipo de tierras el medio ideal para su producción de forraje (Díaz, 1995).

El momento óptimo para el corte es al inicio de la floración, con lo cual se garantiza la obtención de un forraje de buena calidad nutritiva y reducir al máximo los niveles de nitratos y oxalatos en el forraje. El corte debe realizarse a 15 cm sobre el suelo para facilitar el rebrote, (Anaya, 1996). Díaz (1995), determinó el potencial productivo de la coquia en suelos salinos, con diferentes fechas de siembra y con una salinidad mínima de 6,84 ds/m y una máxima de 10,69 S m⁻¹; concluyó que el rendimiento se debe a la fecha de siembra y no al tipo de suelo, y que la mejor época de siembra fue el invierno y obtuvo una producción de 12, t ha⁻¹ de forraje verde.

Kochia scoparia es una especie forrajera de buena calidad alimenticia, con capacidad o afinidad para extraer sales, esta planta representa una de las opciones para hacer frente a la muerte del ganado por carencia de forraje; crece bien en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas (Anaya,1996).

Es un forraje de alta calidad nutritiva, principalmente en las primeras etapas de crecimiento, en el cual la proteína bruta es de 25% en el primer corte y disminuye en cortes siguientes, aumentando el porcentaje de fibra bruta (Ortiz *et al.*, 1988).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Caracterizar física y químicamente suelos regados con aguas residuales para proponer un sistema agroforestal con una especie maderable y una agrícola, adecuadas a las condiciones que presenten los suelos del DR028, Tulancingo, Hidalgo.

3.2 Objetivos Específicos

1. Involucrar a los productores para conseguir su participación
2. Caracterizar física (textura) y químicamente (pH, materia orgánica, nutrimentos, metales pesados, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico) al suelo para determinar su calidad en la producción de cultivos.
3. Establecer una especie maderable y una especie forrajera como alternativa de producción agrícola bajo un sistema agroforestal para el DR028 Tulancingo, Hidalgo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción de la zona de estudio

4.2 Localización

El Distrito de Riego 028, se encuentra ubicado en los alrededores de la ciudad de Tulancingo (la segunda ciudad más importante del estado de Hidalgo). Se encuentra representado por los municipios de Tulancingo de Bravo, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y Cuautepec de Hinojosa, en una proporción aproximada de 83.6 %, 9.4% y 7% respectivamente. El Distrito de Riego se localiza en la zona sureste del estado, entre los 20° 05' 01" de latitud Norte; y 00°02'19" de latitud Este y entre los 98° 22' de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. Se encuentra a 2140 msnm y tiene una extensión territorial de 997 ha de superficie de riego (INEGI, 1995).

Los predios sujetos a estudio se localizan en los ejidos San Nicolás Cebolletas específicamente en el lugar que los habitantes llaman el jagüey del cerro y en el ejido Santa Ana del municipio de Tulancingo en el estado de Hidalgo.

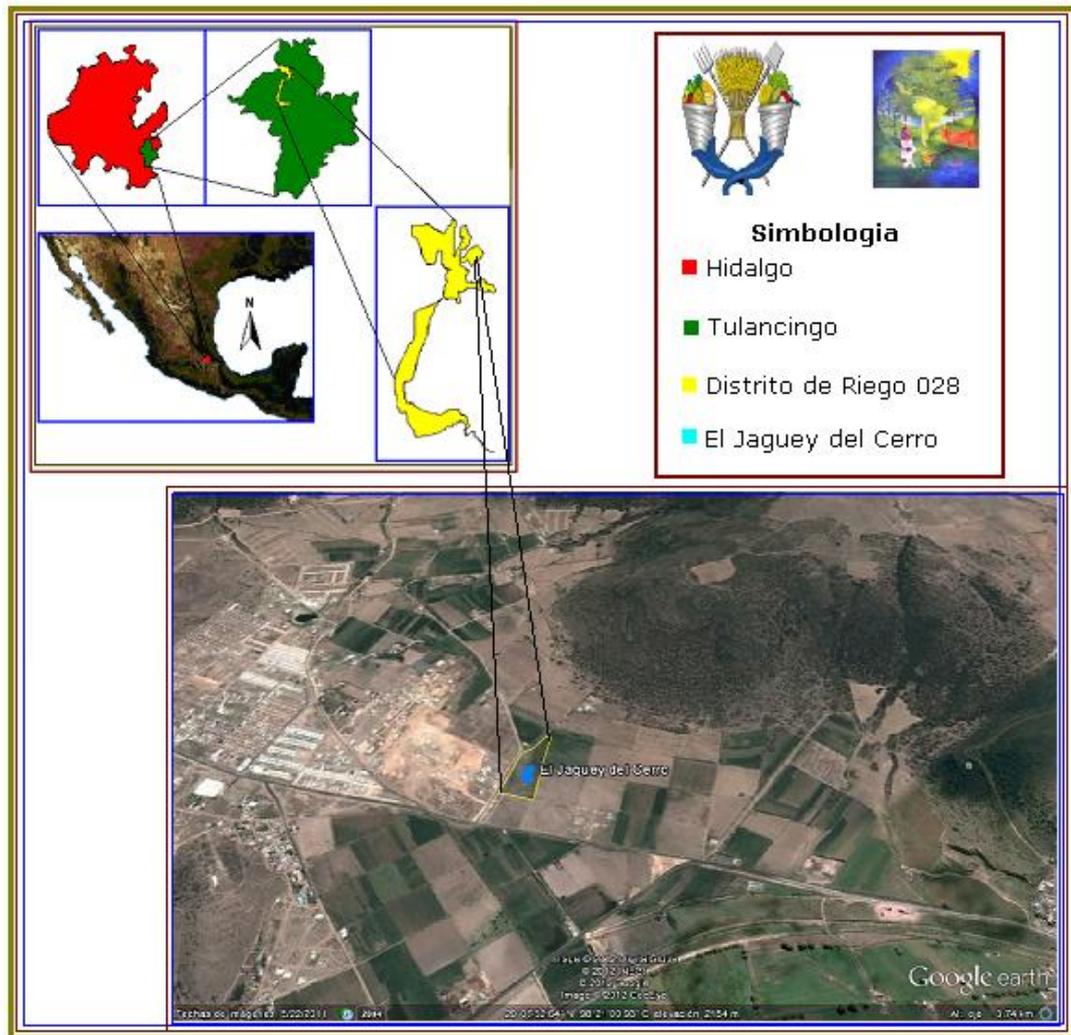


Figura 1. Ubicación del DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

4.3 Clima

El Distrito de Riego presenta, según la clasificación climática de Köppen modificada por García (2004), dos tipos de climas, C (w1) (w) y BS1kw.

C (w1) (w): templado subhúmedo con régimen de lluvias de verano, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, con verano fresco largo, oscilación térmica menor de 5°C, marcha anual de la temperatura tipo ganges, lluvia anual de 43.2 a 55.3 mm por cada grado de temperatura media anual. Este se presenta en la zona de lomeríos principalmente.

BS1kw: seco templado semiárido con verano fresco largo, régimen de lluvias de verano, lluvia invernal entre 5 y 10% del total anual, temperatura media anual entre 12 y 18°C, temperatura del mes más cálido menor a 18 °C. Este clima es el más predominante, presentándose principalmente en las partes bajas y planas del Distrito de Riego.

4.4 Hidrografía

Uno de los principales afluentes del Río Pánuco es el Río Amajac. Este río tiene sus orígenes cerca del límite entre el estado de Puebla e Hidalgo. En su recorrido toma diversos nombres entre los que se encuentra el Río Chililico en sus inicios del área de drenaje de la microcuenca, San Lorenzo, Los Cangrejos hasta tomar el nombre de Río Chico Tulancingo o recientemente llamado Río Nuevo Colorado en el norte de la Cd. de Tulancingo, Valera (2006). En las cercanías de la ciudad de Tulancingo drena hacia un canal, y cerca de un km. Aguas abajo recibe por margen derecho al río Santa María. Corriente administrada aguas arriba por la presa La Esperanza. Estas corrientes son únicas y perennes en todo el valle las cuales continúan a través del canal Río Nuevo (Río Chico Tulancingo) y del cual se desprenden dos canales principales los cuales son utilizados para abastecer de agua a las zonas de cultivo aledañas. Uno de estos canales denominado “Los Enlambrados” se dirige hacia el noroeste uniéndose a este, diversos canales entre ellos algunos provenientes de la laguna Zupitán cuyas aguas son el resultado de las aguas generadas con excedentes de riego Valera (2006).

4.5 Precipitación

La Figura 2 muestra la distribución de la precipitación mensual promedio de varios años (1973 – 2004). La gráfica muestra que el periodo de lluvia abarca desde el mes de junio hasta una parte de octubre y el periodo de escasez de lluvia es de noviembre hasta marzo y elevándose a partir de abril y mayo.

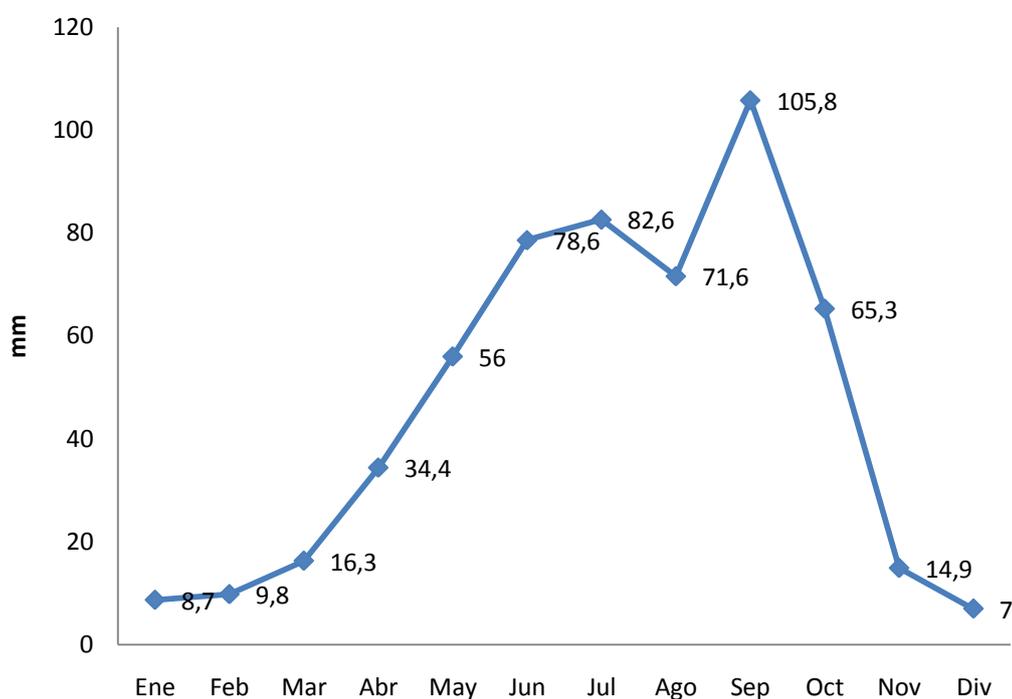


Figura 2. Distribución mensual de la precipitación en DR028 Tulancingo, Hidalgo.
Fuente: Elaboración con base a los datos de ERICIII

La máxima precipitación se da en el mes de septiembre con 105.8 mm y la mínima en el mes de diciembre con 7 mm (ERIC III 2006).

4.6 Medio físico

4.6.1 Fisiografía y Orografía

La extensión territorial del Distrito de Riego 028, de Tulancingo, abarca parte de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico Transversal compuesto por

rocas volcánicas, el cual cuenta con dos subprovincias denominadas Lagos y Volcanes del Anáhuac y Llanuras (esta con la mayor extensión) y Sierras de Querétaro e Hidalgo. En éstas subprovincias se pueden encontrar topofomas de laderas poco pronunciadas, planicies y valles. La altitud varía desde los 2120 hasta los 2223 msnm (INEGI, 2000c).

El distrito presenta una clara uniformidad semi-plana en toda su superficie. Esto se observa principalmente, a que la diferencia entre la parte más alta y la más baja no rebasa los 103 m de altura.

4.6.2 Suelos

De acuerdo a la clasificación FAO (1973), modificada por INEGI (2000 a), las unidades de suelos que se presentan en el distrito son: Regosoles (R): Suelos poco desarrollados cuya formación generalmente depende de la litología pues se derivan de la roca que les subyace (Cuadro 2). No presentan capas con diferencias claras y tienen un horizonte A ócrico muy claro en color y pobre en materia orgánica, el cual sobreyacen directamente sobre roca o sobre un horizonte C.

Regosol éutrico (Re): Suelos de materiales no consolidados, excepto los depósitos aluviales recientes o de arenas; no tienen horizontes de diagnóstico, excepto tal vez un horizonte A pálido; se distingue principalmente por la saturación de bases que es mayor de 50 % y la reacción nula o muy débil al ácido clorhídrico. Su fertilidad para uso agrícola es moderada.

La presencia de esta unidad de suelo es de un 49.3% dentro del distrito y presentan las siguientes características:

Cuadro 2. Principales características de la unidad Regosol en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

Tipo de suelo	Asociación	Clase textural	Fase física	Simbología
• Regosol éutrico	Feozem háplico y litosol	Media	Lítica	Re+Hh +l/2/L
• Regosol éutrico	Feozem háplico	Media	Lítica	Re+Hh +l/2/L

Fuente: INEGI 2000b.

Vertisoles (V): Son suelos de color oscuro que tienen textura uniforme fina o muy fina y un contenido bajo en materia orgánica (Cuadro 3), pero que tal vez su propiedad más importante es la de arcillas expandibles, por lo general, montmorillonita, que ocasiona que estos suelos al secarse se contraigan y agrieten (Montoya, 2010).

Los vertisoles normalmente están desarrollados sobre materiales originados de materiales derivados de calizas o de rocas ígneas básicas, estos suelos son productivos pero difíciles de trabajar.

Vertisol pélico (Vp): Son suelos que presentan grietas anchas y profundas en la época de sequía, son suelos muy duros, arcillosos y masivos, frecuentemente de color negro, gris o rojizo. Son de climas templados y cálidos con una marcada estación de sequía y otra lluviosa. Su vegetación natural es muy variada. Su susceptibilidad a la erosión es baja.

La presencia de esta unidad de suelo es de un 50.6% dentro del distrito y cuyas características se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Principales características de la unidad Vertisol en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

Tipo de suelo	Asociación	Clase textural	Fase física	Simbología
Vertisol pélico	Feozem háplico y Litosol	Fina	Pedregosa	Vp+Hh+1/3/P
Vertisol pélico	Np	Fina	Np	Vp/3

Fuente: INEGI 2000b.

4.7 Uso de suelo

Las principales actividades que se lleva a cabo dentro del Distrito de Riego son la agricultura de riego y la ganadería intensiva. Los cultivos que se producen en el Distrito de Riego son principalmente perennes entre los cuales podemos encontrar: alfalfa forrajera, trébol, pasto forrajero, pero es común encontrar también cultivos cíclicos como los son: maíz forrajero, avena, frijol, chiles, tomate, calabaza, etc., La actividad ganadera se lleva a cabo mediante pequeñas unidades de producción bovina, principalmente de traspatio. Esta actividad es la principal consumidora de la producción forrajera que lleva a cabo el Distrito de Riego (CONAGUA, 2009).

Cabe mencionar que debido a la cercanía del Distrito de Riego con la ciudad de Tulancingo (que prácticamente la rodea), el crecimiento demográfico y desarrollo industrial con el que cuenta la ciudad, el distrito a sufrido una invasión por la mancha urbana, la cual ha provocado una fragmentación de las áreas de cultivo y abandono de las mismas.

5 Métodos

La presente investigación se dividió en fases.

Gabinete

Campo

Laboratorio

La fase de gabinete consistió en planificar y organizar talleres participativos, y como segunda tarea, el análisis de los resultados obtenidos de la investigación.

La fase de campo a su vez comprendió la delimitación del área del muestreo, muestreo y establecimiento de un experimento.

La fase de laboratorio implicó la ejecución de los análisis físicos y químicos.

A continuación se describen cada una de las fases comprendidas en este trabajo.

5.1 Talleres Participativos

Se realizaron tres talleres participativos, en el módulo de riego del distrito 028 Tulancingo Hidalgo. Asistieron los productores que tienen problemas con la producción en sus parcelas. Los talleres tuvieron como base el manual de escuelas de campo, guía metodológica (Morales, 2008).

Cada uno de los talleres tuvo diferentes objetivos:

El primer taller se llevó a cabo el 24 de febrero del 2011 y tuvo como objetivos presentar y dar a conocer los alcances del proyecto de igual forma acordar la colaboración en el proyecto por parte de los productores del distrito de riego 028 Tulancingo Hidalgo. En este taller, se llevó a cabo un

programa de actividades (Anexo 1) el cual incluía. Dar la bienvenida y agradecer la asistencia, de los participantes, exponer los objetivos y expectativas, esperadas con el proyecto, la presentación de participantes y opiniones, una plática de las perspectivas del manejo sustentable de los recursos en el distrito de riego 028 Tulancingo Hgo. También se hablo de agroforestería; definiciones y conceptos, se entrego la información proporcionada de forma impresa. Finalmente se realizó una encuesta con preguntas de carácter cuantitativo y cualitativo para conocer la percepción de los productores sobre esta experiencia.

En el segundo taller se realizó un programa de actividades (Anexo 2) donde, se habló de las especies “manejo y plantación” propuestas a establecer en los ejidos para la investigación planteada de igual modo se entrego la información de forma impresa. Se informo de los resultados obtenidos con las muestras de suelos, la problemática que podría existir durante el desarrollo de la investigación, se realizó una sesión de preguntas y respuestas. Finalmente se llego a diferentes acuerdos y conclusiones.

En el tercero taller se realizó el programa de actividades que se presenta en el Anexo 3, se dio a conocer los avances del proyecto, se realizó una plática donde se explico el manejo que se dio a las especies y se comunico sobre su potencial agropecuario. De igual forma se hizo una serie de encuestas con preguntas de carácter cuantitativo y cualitativo con el objetivo de conocer la percepción de los productores sobre esta experiencia.

5.2 Delimitación de las unidades de muestreo

Seleccionados los terrenos e identificada la problemática se realizó la subdivisión de unidades de muestreo, esto implicó la selección del área donde el tipo de suelo en cuanto a textura, color, pendiente, cultivo, manejo fueron aparentemente homogéneos esto de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000:

5.3 Muestreo de suelo

Una vez delimitadas las unidades se realizó el muestreo de suelo, utilizando el método del zig-zag, se inicio por un lado del terreno, el punto de inicio, fue al azar posteriormente se trazó el plano de tal forma que cubrió completamente y en forma homogénea el terreno. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0 a 30 cm, según lo establecido en la NOM-021-RECNAT-2000; el número de submuestras fue de 21 para cada parcela el suelo colectado, se puso en una bolsa de plástico, posteriormente se depositaron en una tina para su homogeneización y para obtener finalmente la muestra con un peso aproximado de 1.5 kg a través del método del cuarteo.



Figura 3. Método del cuarteo.

5.4 Transporte y preparación de la muestra

Una vez obtenidas las muestras de suelo en campo, se procedió a etiquetarlas en bolsas de plástico y se transportaron en cajas para evitar cualquier pérdida. Posteriormente se trasladaron al sitio de secado en donde se extendieron sobre charolas de plástico, ya secas, se desbarataron los terrones con un mazo de madera para pasar las muestras por un tamiz de malla 10 y después se llevaron al laboratorio para su análisis posterior.

5.5 Análisis de las muestras en laboratorio

Los análisis físicos y químicos se realizaron en el laboratorio central de la Universidad Autónoma Chapingo.

5.6 Análisis químico en suelos

La determinación de pH se llevó a cabo por el método AS-02, el cual se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H.

La materia orgánica se determinó mediante el método AS-07 de Walkley y Black, el cual basa su principio en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado.

La determinación de nitrógeno inorgánico se llevó a cabo mediante el método AS-08, el cual se basa en la extracción del amonio intercambiable por equilibrio de la muestra de suelo con KCl 2N y su determinación por destilación mediante arrastre de vapor.

El fósforo aprovechable se determinó a través del método AS-10 de Olsen, en el cual el fósforo es extraído del suelo con una solución de NaHCO_3 0.5M ajustada a un pH de 8.5.

El contenido de boro en el suelo se realizó mediante el método AS-15, este método utiliza como extractante cloruro de calcio 1.0M y su se cuantifica con una solución de azometina-h como reactivo para formar un complejo coloreado de ácido bórico en medio acuoso.

La determinación de micronutrientes (Fe, Cu, Zn, y Mn) y metales potencialmente tóxicos (Pb, Cd y Cr) se realizó mediante el método AS-14 el cual se basa en la utilización de soluciones complejantes, como DTPA y el EDTA, que tiene como finalidad el recuperar elementos metálicos que se encuentran en forma intercambiable, ligados a la materia orgánica.

Todos los métodos mencionados anteriormente se encuentran descritos en la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

Las determinaciones de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), intercambiables, se realizaron mediante el método de extracción con acetato de amonio, el cual consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice Robledo y Maldonado, (1997).

La conductividad eléctrica se realizó de acuerdo con el Manual de Procedimientos para el análisis de suelos (Robledo y Maldonado, 1997). El cual consiste en la medición de la resistencia eléctrica entre dos electrodos paralelos sumergidos en una solución o en un extracto. En este sistema, la solución entre los dos electrodos se comporta como un conductor eléctrico en el cual se pueden aplicar las leyes físicas relacionadas con la resistencia.

5.7 Análisis físicos de los suelos

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes.

La determinación de textura se llevó a cabo por el método del Hidrómetro de Bouyoucos descrito en la NOM-021-RECNAT-2000, el cual consiste en determinar la cantidad de sólidos en suspensión y la densidad de la suspensión, se mide por medio de un hidrómetro especial. La profundidad del centro de flotación del hidrómetro varía con la densidad de la suspensión y también con la textura. Por otro lado la determinación de la densidad aparente se hizo de acuerdo a lo establecido en el Manual de Procedimientos para el análisis de suelos (Robledo y Maldonado, 1997), por el método de la probeta, que consiste en pesar 50 g de suelo tamizado a 2 mm, después se introduce el suelo en una probeta graduada de 100 ml y se

somete esta a un golpeteo vertical y uniforme sobre una franela húmeda, se deben de dar 30 golpes a razón de un golpe por segundo y la altura de caída debe ser aproximadamente 30 cm.

5.8 Selección de especies (forrajeras y forestales)

Se realizó una investigación bibliográfica en las bibliotecas de la Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Postgraduados campus Montecillo y la biblioteca central de la Universidad Nacional Autónoma de México con el objetivo de tener una percepción más amplia de las especies con mejores posibilidades para adaptarse de forma exitosa en la región de trabajo. De igual modo se rescato el conocimiento tradicional sobre identificación, manejo y usos de las distintas especies seleccionadas mediante entrevistas personales a productores y recorridos de campo en donde ellos reconocieron las especies y su posible uso en los terrenos con diferentes problemas.

5.9 Coquia-mezquite

La coquia fue una especie seleccionada dada la problemática que presenta el DR028, ya que existen suelos salinos y con problemas para el riego debido a su topografía, se tuvo que incluir variedades y genotipos con características de tolerancia a la salinidad, sequias y potencial agropecuario o forestal. Es por esta razón que en el presente trabajo considero conveniente proponer a coquia (*Kochia scoparia* (L.) Schrad) como un genotipo halófito de excelente calidad forrajera y rendimiento comparable a la alfalfa, con buen desarrollo en suelos salinos, menores a 25 S m^{-1} , es

capaz de soportar descensos de la humedad del suelo hasta - 23.5 bares sin marchitarse. Además, la coquia (*Kochia scoparia*) tiene una producción de 25 t ha⁻¹ de materia seca, extrae 8 t ha⁻¹ de sales, lo cual la presenta como mejoradora de suelos salinos. El uso consuntivo de la Coquia (*Kochia scoparia*) durante su ciclo vegetativo (70-80 días) es de 250 a 350 mm de lámina de agua (Anaya, 2004).

El mezquite (*P. laevigata* (H.&B. ex Willd.) M.C. Johnst.), fue propuesta por que es tolerantes a la salinidad y posee la capacidad para fijar nitrógeno en el suelo. Se recomienda el cultivo y mejoramiento del mezquite para producción de forraje y madera, mientras que la FAO sugiere su uso para la reforestación de zonas áridas y semiáridas, y para mejorar la calidad de la vida rural por sus usos como combustible y madera (FAO/CIRF, 1980). El follaje del mezquite al igual las vainas son consumidas por el ganado, especialmente durante la sequía o escasez de otros forrajes. Anualmente en el país son colectadas en poblaciones naturales miles de toneladas, y vendidas como forraje o concentrado en raciones para el ganado (Felker, 1981). Por esto es una opción para contribuir al cultivo en suelos salinos con problemas de riego.

5.10 Plantación y siembra

El establecimiento de la especie forestal (mezquite) y agrícola (coquia) se realizó al inicio del periodo de lluvias, con planta de calidad. A continuación se describe el manejo que se dio a cada una de las especies para su establecimiento.

5.11 El Mezquite *P. laevigata* (H.&B. ex Willd.) M.IC. Johnst

Se consiguieron plántones en el Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Para la plantación, se cavaron cepas a una profundidad aproximada de 40 cm de profundidad y 40 cm de diámetro (Figura 4), se colocó una cama delgada de estiércol de borrego totalmente seco en el fondo de la cepa como abono, se introdujo el cepellón de manera que la parte superior de este quedara al ras del suelo, se relleno todo el espacio faltante y finalmente se apisono. Se plantaron 20 mezquites a una distancia de 15 m en los linderos del terreno, esto de acuerdo con la recomendación de Maldonado y De la garza, (2000).



Figura 4. Plantación del mezquite en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

5.12 Siembra de la Coquia (*Kochia scoparia* (L.) Schrad var. *Esmeralda*)

Para la siembra de coquia se utilizó la recomendación escrita en la guía técnica *¡Una Real Opción Forrajera!* (Anaya, 2000). La siembra se realizó al voleo (Figura 5), en el Jagüey del cerro, se utilizaron 4 kilogramos de semilla la cual se compró por \$150.00 pesos el kg, en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.



Figura 5. Siembra de la coquia, en el Jagüey del Cerro en el DR028 Tulancingo, Hidalgo.

5.13 Obtención del rendimiento de coquia

Para calcular el rendimiento de la coquia, fue necesario realizar un muestreo en la pradera, existe un varias metodologías para muestrear la producción en praderas se puede utilizar áreas de 0,25 m², de 1 m², de 4 m², áreas circulares, áreas rectangulares, por mencionar algunos.

Para el presente estudio, como se muestran en la figura 6, se diseñaron cuadros de 9 m² (3 m x 3 m). Con una cuerda se delimitó el área de muestreo, la justificación para la utilización de esta área, se menciona a continuación (Pérez, 2011).

- El emplear áreas mayores (muestra) implica menos sesgo en los resultados obtenidos, en comparación a áreas más pequeñas.
- Estas áreas se diseñaron para que se pudieran hacer los cortes con la guadaña; en áreas más grandes en más fácil y práctico hacer los cortes con esta herramienta. La toma de muestras se realizó con la ayuda de un productor.

- Se utilizó de la guadaña, debido a que es la herramienta que utiliza el productor para la cosecha y como nuestro objetivo es obtener los datos de rendimientos lo más parecido a esto, solo se cuantifico el forraje que se logro cortar con el instrumento mencionado.

- Las áreas seleccionadas para los cortes fueron seleccionadas al azar, pero se tomaron ciertos criterios: solo se cortaron forrajes que ya estaban listos para la cosecha, eran los que el productor estaba por cortar en los días próximos, menor a 5 días. No se cortaron forrajes que estaban pequeños, ya que el productor espera a que crezcan para cortarlas.



Figura 6. Toma de muestras para la obtención del rendimiento en el Jagüey del Cerro en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

Para pesar el forraje cortado, se llenaron bolsas de plástico y con una báscula de 20 kg después, se peso la coquia para obtener el peso fresco (Cordero y Jiménez, 2003.).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Talleres

Este apartado presenta los principales resultados obtenidos de los talleres realizados en el modulo de riego del distrito 028 Tulancingo Hidalgo. A cual asistieron los productores que tienen problemas con la producción en sus parcelas.

Se abordan cuatro temas fundamentales, el primero sobre los inicios y la consolidación del módulo como una Asociación de Usuarios de aguas negras; el segundo, la distribución del uso del agua residual, número de usuarios, etc.; el tercer tema se abarca la descripción del proceso producción de las praderas en el módulo II, se tomo como base la información recabada en campo, mediante las encuestas realizadas y en el último tema. Los resultados de estos tópicos se describen a continuación

6.2 Desarrollo y consolidación del módulo de riego

El riego con aguas negras o residuales en el Módulo II, del DR o28 inicia en el año de 1958, cuando por primeras vez se regaron cultivos forrajeros con aguas negras provenientes de la cabecera municipal de Tulancingo.

Los pagos por el derecho de uso de dichas aguas, se realizaba en las oficinas del DDR 028, el cual pertenece a la presa La Esperanza.

Los usuarios mencionan, que fue en mayo de 1993, cuando se constituyeron legalmente como la “Asociación de usuarios del Módulo II de aguas negras del Distrito de Riego 028”. El objetivo de su creación, fue mejorar las estrategias y el control en la distribución de las aguas negras y de igual formar evitar gastos en transporte para el pago del por el uso del agua.

6.3 Distribución superficial del Módulo II

De acuerdo con el padrón de usuarios de aguas negras, el módulo está integrado por 5 ejidos, Santa Ana Hueytlalpan, San Nicolás Cebolletas, Tulancingo, La Laguna y Santa María. Se encuentran registrados dentro del padrón, un total de 228 usuarios y la superficie total de praderas regadas con aguas negras es de 512.4 hectáreas.

Los predios sujetos a estudio se localizan en los ejidos San Nicolás Cebolletas específicamente en el lugar que los habitantes llaman el jagüey del cerro (figura 7), donde el costo del bombeo para el riego resulta sumamente caro y en el ejido Santa Ana del municipio de Tulancingo (figura 8), en donde la acumulación de sales es evidente. De acuerdo con el padrón de usuarios de aguas negras, el módulo está integrado por 5 ejidos. Se encuentran registrados dentro del padrón, un total de 228 usuarios y la superficie total de praderas regadas con aguas negras es de 512.4 hectáreas.



Figura 7. Zonas de estudio en el Distrito de Riego 028, Tulancingo Hidalgo.

Según informes de CONAGUA (2009), para el DR 028, los datos muestran que existe una modalidad de producción basado en el riego. Se tiene registrado una superficie de 997 ha, con una producción total de 37 068 t año⁻¹.

Existen básicamente dos tipos de riegos presentes en el DR 028, conocidos como riego por gravedad o rodado y el riego rodado mediante bombeo (Cuadro 4), el cual resulta sumamente caro.

Cuadro 4. Distribución superficial del módulo II del distrito de riego 028 Tulancingo, Hidalgo.

Ejidos	Riego rodado (ha)	Riego por bombeo (ha)	Superficie total (ha)
Santa Ana	105.4	35.9	141.3
San Nicolás	108.4	93.0	201.4
Tulancingo	59.2	34.3	93.5
La laguna	39.0	0	39
Santa María	37.2	0	37.2
Total (ha)	349.2	163.2	512.4

Fuente: (Pérez, 2011).

De acuerdo con el cuadro 4, la superficie regada por gravedad es de 349.2 ha y riego por gravedad por bombeo de 163.2 ha. Es importante mencionar que, solamente 3 ejidos tienen riego mediante bombeo (Santa Ana, San Nicolás y Ejido Tulancingo).

Algunos usuarios riegan con agua de pozo. El riego con agua de pozo se realiza en el periodo de sequía. Figura 2: Distribución mensual de la precipitación (mm) que comprende los meses de abril, mayo y junio, antes del inicio del periodo de las lluvias.

6.4 Proceso de producción de las praderas en el Modulo II

6.4.1 Establecimiento

Inicio con el trazado y la limpieza del terreno. Para la limpia, se utiliza azadón el cual permitió cortar las malezas presentes. El realizar esta actividad implicó varios jornales de trabajo que se tradujo en costos de producción, que iban de 1 hasta 30 días de trabajo jornal, según lo reportado por los productores en las encuestas realizadas.

Las condiciones del terreno, la topografía y la presencia de maleza afectan en el trazado y limpieza del terreno. En muchos casos, no se hace la limpieza del terreno, debido a que no se requiere porque el terreno está accesible para trabajarlo.

Para preparar el terreno se realizó el subsoleo, barbecho, arado, trazo de melgas y en algunos casos el nivelado del terreno.

Es importancia mencionar, que algunos productores realizaron terrazas, aunque no se tiene el porcentaje exacto de ellos, pero esto implicó mucha inversión para llevarse a cabo.

Cabe mencionar la edad de los cultivos, ya que los productores comentan que se pueden encontrar cultivos mayores a los diez años. Muchas de las praderas existentes en el módulo, no se han vuelto a restablecer, ya que para el productor implica una fuerte inversión que no está dispuesta a realizar, de ahí la importancia del uso de las aguas residuales.

6.4.2 Siembra

La composición de las praderas es de gramíneas y leguminosas. Existen praderas exclusivamente de alfalfa (*Medicago sativa*), otras en asociación de alfalfa con trébol blanco (*Trifolium repens*) y pastos y otras de trébol con pastos. Los pastos encontrados en mayor proporción fueron: orchard y el rye grass, hay otros sin identificar o no mencionadas por el productor. Las principales variedades de alfalfa mencionadas son: la valenciana, san miguel y en cuanto al trébol, se presenta el trébol blanco y en menor proporción el rojo.

La densidad promedio de siembra es de: 37.19 kg ha⁻¹ los productores coincidieron en que la siembra se realiza manualmente, mediante la técnica del voleo; durante el proceso, mientras se tiran las semillas en el terreno, estas se cubre con la ayuda de vigas de madera (la cual lleva consigo clavos de acero) o con ramas las cuales son jaladas por un animal, el caballo es el más común.

6.4.3 Aplicación de abonos

Los productores aplican abonos a su pradera. El estiércol utilizado como abono, es el producido en los corrales por el ganado bovino que tienen los productores. Cabe mencionar que la zona es considerada productora de leche y derivados, principalmente queso.

Los agricultores pueden comprar el estiércol para complementar el abonado del terreno. El número de aplicación varía de acuerdo al productor y las necesidades del terreno.

6.4.4 Aplicación de fertilizantes

En el DR028 no se aplican fertilizantes, de ahí la importancia para los productores la utilización de las aguas negras para el riego de los cultivos, ya que llevan mucha materia orgánica y de esa forma se evitan el gasto en la adquisición de fertilizantes.

6.4.5 Aplicación de riego

Para un mejor análisis, el riego se agrupó en varias modalidades.

1. Riego por gravedad o rodado. Se riegan directamente las praderas con aguas negras (Figura 8).
2. Riego rodado por bombeo. Se almacenan el agua en el cárcamo de bombeo y se bombean las aguas negras hacia las parte altas para posteriormente regar por gravedad (Figura 9).

3. Riego con agua de pozo. Esta forma de riego lo llevan a cabo productores que no se encuentran en el padrón de usuarios de aguas negras.
4. Riego por gravedad y con agua de pozo. El riego con agua de pozos, se utiliza en los meses en que se escasea el agua residual porque no se logra regar toda la superficie y es generalmente en los meses de abril, mayo y junio cuando más se utiliza.



Figura 8. Riego por gravedad en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

La periodicidad del riego varía de acuerdo a la época del año. Como se mencionó anteriormente, existen 5 localidades dentro del padrón de usuarios, y a cada localidad tiene 5 días para regar sus parcelas, por lo tanto, en la primera modalidad el riego es cada 25 días y el de bombeo cada 50 días, esto porque con el riego por bombeo se requieren más horas para regar una hectárea y al existir el mismo número de días de riegos para cada

localidad, los usuarios se tienen que esperar hasta el siguiente turno para poder regar la pradera completamente (figuras10).



Figura 9. Cárcamo y riego rodado con bombeo en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

La duración de cada riego varía desde 4 horas en algunas praderas hasta 10 horas en otras, con un promedio de 6.2 horas.

El precio o el pago por el uso del agua ha cambiado con el paso de los años; en 1993 el precio fue de 23 pesos, a partir de febrero de 2000 el precio se elevó a 35 pesos y fue hasta marzo de 2009 cuando el precio se volvió a elevar a 50 pesos, este es el precio actual (figura 11).

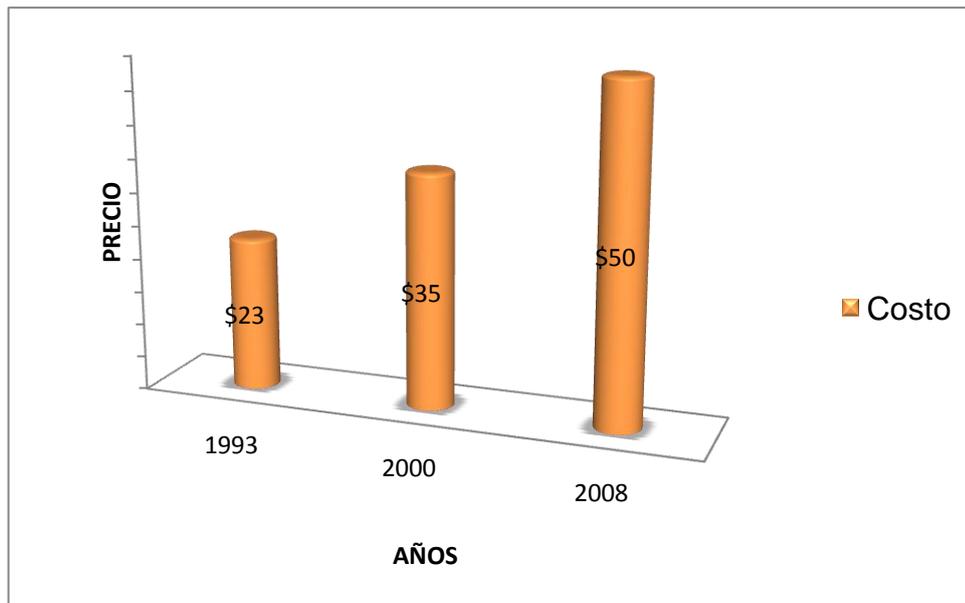


Figura 10. Cambios en el precio del agua de riego en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.
Fuente: Elaboración con base a las encuestas

El riego por bombeo, da inicio en el año de 1996 con un precio inicial de 50 pesos por hora de riego y fue en el 2008 cuando este precio se elevó a 60 pesos.

El pago por derecho de uso es igual para todos los que están inscritos en el padrón de usuarios del módulo, de 50 pesos. En el caso de riego por bombeo, aparte del derecho de uso (\$ 50 pesos), se pagan 60 pesos más por cada hora de uso de las aguas residuales y el costo total depende de la cantidad de horas regadas. Los 50 pesos, en el caso de agua rodada, se emplean para pagarle a una persona para que abra las compuertas y verifique que se distribuya el agua hacia las praderas respectivas.

Para el riego de las praderas, se emplea mano de obra de obra familiar. El jornal empleado para el riego va desde medio hasta un día jornal de trabajo.

Se calcula un promedio de 6 riegos por año para el riego por bombeo y 12 el riego por gravedad. Estos valores se obtuvieron en base a que en los meses de lluvia (agosto y septiembre), no se riegan las praderas porque existe disponibilidad de agua proveniente de las lluvias, de esa forma se van retrasando los riegos.

El costo del riego con agua de pozo es de 25 pesos por hora con un promedio de 10 horas por ha aproximadamente, los productores mencionan que el número total de riegos es de 17 al año, con un costo total de \$4 250 pesos.

6.4.6 Control de malezas, plagas y enfermedades

En el área de estudio no se realiza el control de malezas. Cualquier planta o hierba presente en las praderas, es cortada y considerada como forraje, aunque no pertenezcan al grupo de las forrajeras.

De igual forma, al presentarse alguna plaga o enfermedad, estas no se controlan, debido a la falta de conocimiento de las mismas, a la falta de asesoría técnica especializada.

Mencionan los productores, es muy rara la presencia de plagas en las praderas de estudio. En cuanto a las enfermedades, solamente se observa problemas debido al déficit de agua, provocando desecamiento de las plagas.

En las épocas de heladas, en los meses de noviembre, diciembre y enero, mencionan los productores, que la producción se reduce hasta una tercera parte, lo cual afecta a la economía de los productores, ya que al no haber forraje, se ven forzados a comprarlo.

6.4.7 Cosecha

La cosecha de las praderas es 100% manual. Para el corte se utiliza la guadaña, el biello, escoba de jardinero y las limas para afilar la guadaña (figura 12). Con una lima se afila la guadaña para que cortar el forraje fresco; con la escoba se recoge el forraje cortado y con el biello se van levantando hacia la carreta o camioneta, según sea el caso. Varios de las praderas se encuentran detrás de las casas, por lo que no hay mucho problema en el transporte de la misma.



Figura 11. Herramientas para corte
Fuente: Pérez, 2011

El corte varía de acuerdo a las especies presentes, en praderas de alfalfa el corte se hace regularmente cada 40 días, hay casos en las que se cortan antes del lapso de tiempo mencionado; las praderas compuestas, se cortan generalmente antes de los 40 días. El proceso de corte al no realizarse con maquinaria, se van cortando conforme el productor la va utilizando, esto se hace diariamente.

El rendimiento en los cortes de las praderas varía de acuerdo estación del año, no es el mismo rendimiento en verano que en invierno. De acuerdo a los datos proporcionados por el productor, la máxima producción es en verano, ya que es la época de lluvias.

6.5 Unidades de muestreo

Se obtuvo como resultado en la zona de estudio la delimitación de 2 unidades de muestreo (El jagüey del cerro y Santa Ana) donde se presentaron problemas para la producción. Las sub muestras de cada unidad se tomaron basadas en los siguientes factores: tipo de suelo, textura, tipo de riego.

De acuerdo con el proceso de producción de las parcelas, existen muchas actividades que no se llevan a cabo; el control de las plagas y enfermedades, control de malezas, y el más importante de todos, la fertilización. No se realiza fertilización debido a que el agua con la que se riega (agua residual) lleva consigo una gran cantidad de nutrientes indispensable para la producción de forraje con buenos rendimientos.

El regar las parcelas con aguas residuales, representa muchos beneficios económicos para el productor, es una actividad que ha perdurado durante más de 50 años y es difícil de cambiar la ideología del productor en pro de mejorar las condiciones del suelo.

6.6 Determinaciones químicas en suelo

6.6.1 pH

El pH quizás es la propiedad química más importante de un suelo, esto debido a que la actividad que tienen con los elementos que intervienen en la nutrición vegetal depende en gran medida del ión hidrógeno. Los suelos, con niveles de pH mayores a 7.4 se clasifican como alcalinos y se pueden presentar problemas con nutrientes como el fósforo, en que se ve afectada su solubilidad por la precipitación con el ión calcio (Black, 1993).

El pH medido va de moderadamente alcalino a alcalino según la NOM-021-RECNAT-2000 (Anexo 4). Se tiene que los valores para las muestras obtenidas son; en el jagüey del cerro, de 7.62, y que para Santa Ana Tulancingo es de 8.20.

Los valores obtenidos en el presente estudio no toman en cuenta algunas variables como lo son el origen del suelo por lo tanto, no se muestran una tendencia clara del impacto del riego con aguas residuales, como la disminución o aumento del pH en los suelos, como se ha observado en diversos estudios, en los cuales se ha demostrado que la utilización continua

de aguas residuales contribuye a una disminución significativa en el pH del suelo. Esto se atribuye en parte a la nitrificación del amonio proveniente del nitrógeno orgánico, la oxidación de sulfitos y la producción de ácidos orgánicos producto de la mineralización de la materia orgánica (Zamora et al., 2008). Sin embargo esto difiere con lo obtenido por Iñigo et al., (2007), que obtuvo como resultado de su estudio “Riego con aguas residuales de la industria agroalimentaria y calidad del suelo”, que el uso constante de las aguas residuales provoca un aumento en el pH del suelo.

6.6.2 Conductividad eléctrica

Las sales presentes en el suelo vienen determinadas fundamentalmente por la salinidad del agua de riego y por la proporción del agua de riego que se percola más allá de la zona radicular. El Distrito de Riego ya comienza a presentar problemas de salinidad en algunas zonas en donde la acumulación de sales está presente, según la NOM-021-RECNAT-2000 (Anexo 5), a partir de 10 S m^{-1} se empiezan a observar problemas mínimos para el desarrollo de los cultivos, con valores arriba de los 20 S m^{-1} se tienen disminuciones muy importantes de producción en la mayoría de los casos.

En la muestra obtenida en el jagüey del cerro no presenta problemas de salinidad (0.79 S m^{-1}). En tanto en Santa Ana ya se presentan problemas de salinidad (4.86 S m^{-1}) cuadro 5.

Al respecto, Velázquez *et al.* (2002), reporta que los valores de C.E. de la gran mayoría de las aguas residuales se encuentran dentro un rango que va de 10 a 30 S m⁻¹ y por lo tanto el riego con aguas residuales puede conducir a una salinización progresiva de los suelos.

También, Ramos (2000), muestran que las aguas residuales que tienen un contenido de sales que oscila, en general, entre 20-40 S m⁻¹. Así, se puede presentar problemas por salinidad si se emplean estas aguas y no se produce una lixiviación importante de las sales con el riego o las lluvias invernales.

6.6.3 Materia orgánica

En cuanto a la permanencia de Materia Orgánica en el suelo es transitoria y está es renovado continuamente por la adición de residuos vegetales u otros (Ramos 2000). Los resultados (Cuadro 5), para la muestra del El jagüey del cerro el contenido de MO es muy bajo (0.27%) y para la muestra de Santa Ana es bajo (1.34%) ver Anexo 6.

Zamora *et al.*, (2008), obtuvo como resultado de su investigación que la aplicación constante de aguas residuales en suelos cultivados con pasto incrementó los niveles de materia orgánica a valores de 43.1 g kg⁻¹, los cuales fueron significativamente superiores al contenido de materia orgánica reportado en el suelo bajo riego intermitente y el suelo virgen los cuales presentaron valores de 13.3 y 8.5 g kg⁻¹, respectivamente. Estos dos últimos valores son similares a los reportados normalmente para suelos de las zonas

semiáridas donde los niveles de materia orgánica son pobres debido al escaso aporte de biomasa vegetal. Esto último coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación ya que en el terreno del jagüey del cerro por sus condiciones se riega de manera intermitente, y en cuanto a la parcela ubicada en el ejido de Santa Ana no se trabaja en aproximadamente tres años por los problemas que presenta.

6.6.4 Nitrógeno inorgánico

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico fueron bajas (Cuadro 5), tanto en El jagüey del cerro (13.8 mg kg^{-1}) como en Santa Ana (18.4 mg kg^{-1}) ver Anexo 7. El nitrógeno es escaso en casi todos los suelos agrícolas es el nutriente que más extrae el cultivo, por lo tanto, se debe fertilizar con algún producto que contenga este nutriente. Sin embargo se debe tener algunas precauciones al usar este fertilizante ya que su uso continuo y en exceso produce una disminución en el pH (acidez del suelo) lo cual puede ser perjudicial para la planta.

Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Hernández *et al.*, (2011) en su estudio, Características físicas y químicas de suelos regados con aguas residuales del distrito de riego 028, Tulancingo, Hidalgo. Donde observaron una tendencia negativa en suelos regados de forma intermitente, los cuales presentaron pobre contenido de nitrógeno inorgánico a diferencia de los que son regados de forma constante, los cuales presentaron un promedio de 48 mg kg^{-1} colocándolos en rangos de concentraciones altas.

De igual forma Lapeña *et al.*, (1994) en su estudio, Riego con Agua Residual Urbana Depurada en la Plana de Castellón: durante diez años observo que los árboles de cítricos que fueron regados con agua residual urbana depurada mostraron concentraciones de N foliar óptimas (2.05%) para el desarrollo de la planta y llegaron a la conclusión que el agua residual urbana depurada puede ser una fuente de N para los cítricos, debido a los altos niveles de materia orgánica encontrados en este tipo de agua, lo que podría reducir el uso abusivo de fertilizantes nitrogenados.

6.6.5 Fósforo asimilable

El fósforo en El jagüey del cerro en donde el riego es por bombeo se encuentra clasificado como moderadamente bajo (12.05 mg kg^{-1}), a diferencia de Santa Ana que se encuentra en la clasificación de muy alto ($125.86 \text{ mg kg}^{-1}$), la diferencia presentada es significativa (Anexo 8). Esto coincide con lo señalado por Andrade *et al.*, (2000) que reportan que en suelos regados con aguas residuales a medida que aumenta el tiempo de riego, es mayor el incremento en los contenidos de fósforo en el suelo, en particular los suelos analizados no presenta deficiencias de fósforo ya que los resultados obtenidos no muestran ausencia de este elemento que luego del N es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos.

Entre las causas de una mayor disponibilidad de fósforo, luego de la aplicación de aguas residuales se encuentran los aportes provenientes del fósforo orgánico como producto de la mineralización de la materia orgánica o

la disminución de la acidez causada por la incorporación de materiales de reacción alcalina (Korentajer, 1991). En este sentido, Ippollito et al. (1999), estudiaron los efectos de la aplicación de aguas residuales sobre la absorción de fósforo y concluyeron que la aplicación de las mismas produjo la inmovilización de fósforo soluble e indujeron su deficiencia en el cultivo. Este efecto permite inferir que la disponibilidad del fósforo va a depender de las características del agua y fundamentalmente del sistema de tratamiento empleado.

6.6.6 Potasio

En lo que refiere a las concentraciones de potasio en el suelo (Cuadro 5), se observó que son considerablemente, altas en las dos muestras (Anexo 9). De acuerdo con David y Struchtemeyer (1990) y Rodríguez *et al.*, (2006) que encontraron que el riego con aguas residuales incrementa los niveles de potasio en niveles que van de medianamente ricos a extremadamente ricos (85.33 a 219 mg kg⁻¹ respectivamente), en estos suelos. En general resulta positivo ya que el potasio aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades, sequías y al frío.

De igual forma Zamora *et al.* (2008), estudio el comportamiento del potasio en suelos regados con aguas residuales, los cuales encontraron que el incremento del k total fue significativamente mayor ($P \leq 0,05$) en el tratamiento donde se utilizó aguas residuales para el riego de pastizales de forma continua.

6.6.7 Calcio y magnesio

Los niveles de Ca en los suelo fluctúa de medio (1807 mg kg^{-1}) en el jagüey del cerro y alto (4321 mg kg^{-1}) en Santa Ana (Cuadro 5), esto se relaciona con el grado de saturación de la arcilla del terreno y resulta propicio dado que las carencias de calcio se manifiestan según Gutiérrez (1995), en una menor capacidad de síntesis de proteínas en la plantas, menor desarrollo radical, clorosis marcada en hojas principalmente jóvenes, poco crecimiento de los tallos y hojas produciéndose además, una muerte de los meristemos, la planta se muestra menos crecida y desarrollada.

En cuanto a las concentraciones de Magnesio en el jagüey del cerro son altas (861 mg kg^{-1}) y en Santa Ana (1292 mg kg^{-1}) son muy altas (Cuadro 6), estos resultados son similares a los reportados por Zamora *et al.*, (2008), quienes obtuvieron valores de magnesio moderadamente altos ($754,2 \text{ mg kg}^{-1}$) en los suelos regados con aguas residuales de manera permanente, esto resulta positivo ya que este nutriente forma parte de la molécula de clorofila por lo que se encuentra íntimamente involucrado en la fotosíntesis y cumple un rol en la síntesis de aceites y proteínas e interviene en la actividad enzimática del metabolismo energético (Foth, 1986).

Cuadro 5. Características químicas del suelo de las parcelas en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

Variable	El jagüey del cerro	Interpretación	Santa Ana	Interpretación
pH	7.62	† 7.4-8.1 Moderadamente Alcalino	8.20	† Alcalino 8.2-8.8
MO %	0.27	‡ Muy bajo < 0.5	1.34	‡ Bajo 0.6-1.5
CE dSm^{-1}	0.79	‡ Libre de sales <1	4.86	‡ Salino 4.1-8
N mg kg^{-1}	13.8	‡ Bajo 10-20	18.4	‡ Bajo 10-20
P mg kg^{-1}	12.05	† Moderadamente bajo 11-20	125.86	† Muy alto > 61
K mg kg^{-1}	690	¶ Extremadamente rico > 125	1610	¶ Extremadamente rico > 125
Ca mg kg^{-1}	1807	† Medio 1,501-2500	4321	† Alto 4,001-6000

†Castellanos *et al.*, (2000).

‡NOM-021-RECNAT-2000

¶Vázquez (1997).

6.6.8 Micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn)

Los micronutrientes son tan importantes para las plantas como los macronutrientes (N, P y K), a pesar de que la planta los requiere solamente en cantidades muy pequeñas (Bradl, 2005).

En las dos muestras se presentan concentraciones que van de moderadamente altas a altas de Fe (22.4 a 28.7 mg kg⁻¹) y Mn (27.18 a 26.60 mg kg⁻¹) de igual forma se obtuvo que para el Cu (0.90 a 2.12 mg kg⁻¹) y Zn (1.60 a 4.86 mg kg⁻¹) se presentan concentraciones de medias a altas (Cuadro 6) ver Anexo10. Esto resulta favorable dado que la deficiencia de cualquier micronutriente puede provocar problemas en el crecimiento de la planta y desarrollo de las raíces, esto repercute en la producción, calidad y cantidad (Ramos, 2000).

Estos resultados son similares a los presentados por Ramos *et al.*, (2001) quienes reportan en su trabajo “Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México” concentraciones similares de Cu y Zn (<1.99 y 5.59 mg kg⁻¹, respectivamente), en suelos regados con aguas residuales, también reportan que estas concentraciones disminuyen conforme aumenta la profundidad a la que fue tomada la muestra analizada, se tiene así las concentraciones más bajas en profundidades de 70 a 80 cm.

Aunque se tiene que tomar en cuenta que el zinc y el manganeso son nutrientes minerales esenciales a bajas concentraciones, son muy tóxicos en cantidades altas en el suelo (Casierra-Posada, y Poveda, 2005).

Los síntomas de toxicidad por Zn incluyen clorosis y crecimiento reducido de la planta; actúa inhibiendo la fijación de CO₂, el transporte de los hidratos de carbono en el floema y altera la permeabilidad de la membrana celular (Efroymsen *et al.*, 1997; Marschner, 1998).

En cuanto a la toxicidad por Mn incluyen clorosis marginal y necrosis de hojas y raíces café oscuras, sólo después de que el follaje ha sido afectado. El exceso de Mn interfiere con las enzimas, disminuye la respiración y está relacionado con la destrucción de auxinas (Marschner, 1998).

6.6.9 Boro

El boro es necesario en pequeñas cantidades para el desarrollo de los cultivos, promueve la germinación de los granos de polen, el crecimiento del tubo polínico y la formación de semillas y paredes celulares. Es el micronutriente que más frecuentemente aparece como limitante para las plantas y es el más utilizado como fertilizante.

De igual forma la concentración de boro en el Jagüey del cerro se encuentra en niveles altos (1.49 mg kg⁻¹) y en Santa Ana en niveles clasificados como muy altos (3.05 mg kg⁻¹) según Castellanos *et al.*, (2000) ver Anexo 11, lo cual indica toxicidad para cultivos sensibles, que sean establecidos en estos sitios, según lo indicado por Vázquez (1997), en general se cubren los requerimientos de boro para los cultivos presentes en la zona.

Según lo obtenido por Mendoza *et al.*, (2003) las concentraciones de boro soluble obtenidas en una parcela experimental regada con agua residual y cultivada con alfalfa y pasto sudán, tras diferentes períodos de riego, las concentraciones de boro se incrementaban conforme la intensidad y períodos de riego en suelo. Esto es un dilema, debido a la facilidad de pasar de la nutrición a la toxicidad, los síntomas de toxicidad de B, han sido descritos por Vargas (1999), esta se expresa como una clorosis marginal delgada.

Cuadro 6. Contenido de micronutrientes de las parcelas en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

Variable	El jagüey del cerro	Interpretación	Santa Ana	Interpretación
Mg mg kg ⁻¹	861	† Muy alto > 50	1292	† Muy alto > 50
Fe mg kg ⁻¹	22.4	‡ Adecuado > 4.5	28.7	‡ Adecuado > 4.5
Cu mg kg ⁻¹	0.90	¶ Adecuado > 0.2	2.12	¶ Adecuado > 0.2
Zn mg kg ⁻¹	1.60	‡ Adecuado > 1	4.86	‡ Adecuado > 1
Mn mg kg ⁻¹	27.18	‡ Adecuado > 1	26.60	‡ Adecuado > 1
B mg kg ⁻¹	1.49	† Alto 1.30-2.10	3.05	† Muy altos > 2.10
CIC Cmol(+) kg ⁻¹	19.30	‡ Medio 15-25	30.90	‡ Alto 25-40

† Castellanos *et al.*, (2000).

‡ NOM-021-RECNAT-2000

¶ Vázquez (1997).

6.6.10 Textura

La textura del suelo es una de las principales propiedades ya que el arreglo que presenta la fase sólida determina el espacio que queda disponible para las otras dos fases de este (líquida y gaseosa); puede decirse que esta propiedad es la que controla las interrelaciones entre las diferentes fases físicas del suelo y la dinámica de líquidos y gases en él, porque tiene una influencia directa en propiedades como porosidad, densidad aparente, régimen hídrico, régimen térmico, permeabilidad, aireación y distribución de la materia orgánica entre otras (Jaramillo, 2002). Los resultados obtenidos en el jagüey del cerro corresponde a un suelo franco y en Santa Ana franco

arcilloso (Cuadro 7), al respecto Ramos *et al.*, (2001) concluyeron que los suelos con textura fina o con horizontes con altos niveles de materia orgánica tienen una mayor capacidad de adsorción de metales que los suelos con textura arenosa o baja cantidad de materia orgánica.

Cuadro 7. Clase textural de las parcelas en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

Variable	El jagüey del cerro	Santa Ana
Arena %	38.2	32.2
Limo %	36.0	36.0
Arcilla %	25.8	31.8
TEXTURA	FRANCO	FRANCO ARCILLO

Las clases texturales encontradas son 2 y se describen a continuación:

Franco: estos suelos son apropiados para la agricultura con buenos rendimientos, por un buen equilibrio entre la permeabilidad del agua y la retención de esta y los nutrimentos.

Franco arcilloso: presenta un interno pobre con bajos rendimientos, son suelos que presentan un contenido de arena, limo y arcilla muy equilibrado.

6.7 Elementos Potencialmente Tóxicos (Pb, Cd, Cr)

Se sabe que la solubilidad de varios elementos entre ellos Pb, Cd y Cr se relacionan inversamente con el pH (McBride *et al.*, 1997). Los suelos del jagüey del cerro y Santa Ana presentaron bajas concentraciones para Pb de 1.1 y 1.06 mg kg⁻¹ respectivamente y para Cd de 1.62 y 0.23 mg kg⁻¹, las muestras se encuentran por debajo de los valores considerados como críticos por exposición a estos elementos propuestas para los suelos, de acuerdo con lo que establece la US-EPA (1993), ver Anexo 13, para

considerarse como suelos contaminados. De igual forma con lo que establece la NOM-021-RECNAT-2000 (Anexo 12), para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, las concentraciones de estos elementos no presentan un problema de toxicidad para las plantas.

Lo Anterior puede ocurrir por las condiciones del sitio y al pH alcalino que se encontró, La ventaja de un pH superior a 6.0 y un buen contenido de materia orgánica y arcilla, es conservar una baja actividad de los iones de los metales en la solución. Además, con un pH elevado no se tendrán problemas de toxicidad por un incremento en la disponibilidad de los metales, ya que dichos iones son casi totalmente adsorbidos, fijados o precipitados (Black, 1993).

Ramos *et al.*, (2001) concluyeron que el contenido de metales pesados en suelos regados con aguas residuales va a depender de la concentración que contengan esas aguas al momento del riego y de el tiempo que se tenga utilizando estas aguas, esto se relaciona con los resultados obtenidos en el presente trabajo ya que la baja concentración de EPT's puede estar directamente relacionada con el agua que se utiliza para riego.

A pesar de no encontrar problemas con los EPT's se requiere el monitoreo continuo de los suelos para detectar cualquier tipo de problema que se llegue a presenta con relación a esto.

6.8 Establecimiento del sistema coquia-mezquite

En la zona del jagüey del cerro el diseño del sistema agroforestal (coquia-mezquite) tuvo como base de su arreglo la problemática manifestada por los

productores involucrados en el proyecto durante los talleres: dada la situación topológica del terreno, el riego resulta demasiado caro ya que se tiene que bombear y por ende los costos se incrementan.

El establecimiento de las especie coquia agrícola y mezquite forestal se realizó al inicio del periodo de lluvias, con planta de calidad, en cepas de 40 cm de profundidad y 40 cm de diámetro excavadas con pala. Antes de plantar se colocó en el fondo de la cepa abono orgánico; con un diseño de linderos maderables, figura 12. Se indica los espaciamientos y el arreglo espacial y temporal de las especies en el Sistema Agroforestal, para este solo contempla manejo de podas de formación cuyo propósito es la formación de un tronco lo más grueso y derecho posible mediante la eliminación de las ramas que nacen en la base de la planta.



Figura 12. Diseño espacial de la plantación agroforestal de acuerdo con las especies de árboles y cultivo agrícolas en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

Este sistema intenta un manejo holístico de los recursos naturales, al asociar en un mismo terreno y de forma planeada una vegetación herbácea para la alimentación del ganado, con vegetación arbustiva y o arbórea que pueda proveer impactos positivos sobre el ambiente y satisfactorios que generen un

ingreso adicional para el productor rural: madera, leña, resinas, frutas, etc. (Musálem, 2001).

6.9 Costo de establecimiento del sistema Agroforestal, Coquia-Mezquite

El valor de la inversión inicial actual para establecer una hectárea de sistema Agroforestal Coquia-Mezquite fue de \$ 5 890.00 pesos (Cuadro 8), sin contemplar la adquisición de la carreta y la del caballo para transportar el forraje cosechado, con un costo estimado de \$ 7 000.00 pesos y la inversión inicial es de \$12 890.00 pesos.

No se contempla al subsoleo y algunas otras actividades por ser actividades menos frecuentes. En contra parte el costos de establecimiento de 1 ha de pradera de alfalfa cultivo dominante en la zona es de \$12 058.00 pesos, esto según Pérez (2011), quien realizó una evaluación económica del uso de aguas residuales en el modulo II del distrito de riego 028, Tulancingo, Hidalgo.

Cuadro 8. Costo de establecimiento de 1 ha de sistema Agroforestal coquia-mezquite en el DR 028 Tulancingo, Hidalgo.

Concepto	No. de jornales	Cantidad	Costo unitario	Costos
I. Preparacion del suelo				\$2 410.00
1. Barbecho		1	\$400	\$400.00
2. Rastreo		2	\$375	\$750.00
3. Trazo de melgas	4		\$140	\$560.00
4. Otras labores (delimitacion, limpia, etc)	5		\$140	\$700.00
II.Siembra				\$3 480.00
1. Semillas (coquia)		8kg	\$150	\$1 200.00
2. Mano de obra (yunta)	2		\$140	\$280.00
3. Plantones de Mezquite		40	\$50	\$2 000.00
Gran total:				\$5 890.00

Fuente: Elaboración con base a los costos de establecimiento.

El rendimiento de una hectárea de coquia fue de 46.70 t, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA, 2002), menciona que la Coquia (*Kochia scoparia*), a demostrado tener un alto potencial forrajero, siendo su producción de materia verde de 56 t ha⁻¹, es una planta que se adapta a una gran diversidad de climas, es tolerante a los suelos salinos y bajas temperaturas (Anaya, 2004). Es una planta de alta palatabilidad, especialmente por su gustosidad, buena digestibilidad y baja en fibra. Tiene un porcentaje de proteína cruda de 18 a 28%.

En cuanto a una hectárea de alfalfa cultivo dominante en la zona que según Pérez (2011), varía de 25.85 t en primavera y 34.50 t en verano, aunado a esto la coquia requiere de 4 - 6 veces menos agua que la alfalfa, y tiene rendimientos superiores a esta es más que evidente la viabilidad como cultivo forrajero en la zona (Gutiérrez, 2000).

En cuanto al mezquite que ha presentado una sobrevivencia del 100%, López *et al.*, (2006) menciona que debido a su bajo requerimiento de agua, el mezquite reviste gran parte de las regiones áridas, y se establece en suelos con alto contenido en sales como el sierozem y chestnut, aunque también se desarrolla en suelos arcillosos, y aporta madera y forraje.

Al colocar los mezquite en los linderos del terreno trae consigo beneficios (CATIE, 1998).

- Logran una delimitación clara y segura de la finca, evitando posibles conflictos legales con los colindantes.

- Producir madera sin interferir con la cosecha.
- Actúan como barreras de protección contra vientos.
- Aumentan la belleza escénica de la finca, lo que contribuye a un mejoramiento del paisaje.
- El fruto también es consumido como alimento humano
- El follaje del mezquite al igual que las vainas son consumidas por el ganado, especialmente durante la sequía o escasez de otros forrajes.

Ramírez (2002), menciona algunos de los errores más comunes que se cometen al incorporar árboles maderables en los linderos de los terrenos, los cuales afectan directamente sobre las ganancias, tanto económicas como ecológicas, que se puedan generar.

- No efectuar labores de resiembra.
- No efectuar labores de podas a los árboles.
- No realizar raleos.
- Sobrepodar (mutilar o desmochar los árboles).
- Anillar los árboles.
- No esperar los turnos de corta adecuados, para cosechar los árboles maderables.
- Colocar los hilos de las cercas (alambre de púas) directamente sobre los árboles maderables del lindero.

7. CONCLUSIONES

Los talleres participativos permitieron ubicar las necesidades de los productores, respecto a la baja producción e ineptitud que presentan sus terrenos. Además, se ubico que las nulas prácticas agrícolas en sus cultivos, son las causas principales de dichos resultados. Otro logro conseguido con los talleres fue la aceptación de la implementación del sistema agroforestal (coquia-mezquite) propuesto.

La caracterización física y química de los suelos permitió ubicar que los contenidos nutrimentales son de medios a altos (con excepción del nitrógeno), que la materia orgánica se presenta en rangos muy pobres a pobres, los contenidos de metales pesados no se consideran críticos para la producción de los cultivos ni representan riesgo ambiental, de igual forma se identifico que la salinidad se presenta en algunos suelos.

Con base a las condiciones que presentaron los suelos se implementó el sistema agroforestal (coquia-mezquite); por ser dos cultivos tolerantes a dichas propiedades del suelo. Los resultados mostraron que el sistema agroforestal es una alternativa para la producción de forraje y especies maderables en los suelos del DR 028, Tulancingo, Hidalgo.

Es necesario continuar la investigación que se inició con este trabajo, para precisar que el sistema agroforestal propuesto, es una alternativa aceptable para los productores desde el punto de vista económico y ambiental.

8. RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en que se plantea el sistema agroforestal, se hacen necesarias alternativas que permitan el conocimiento y su adopción ya que el productor con o sin problemas en sus terrenos puede dedicar parte del área de este a la producción en forma rotativa a los Sistemas Agroforestales, conforme los ciclos de producción agrícola lo permitan y los turnos de producción del mezquite. Con el objetivo de incrementar los ingresos a lo largo de todo el año.

Realizar más estudios similares en la zona para determinar las problemáticas existentes en la región provocadas por el riego con aguas residuales.

Reglamentar en acuerdo con los sectores privado, industrial y gubernamental la regulación de las descargas de agua residual, ya que con esto se prevendría un deterioro ambiental a largo plazo, del mismo modo implementar el pago de derechos, para el control de las descargas.

Trabajar junto con la comunidad en estrategias de manejo de las aguas residuales, además estas aguas deben ser consideradas como un recurso de valor en la región y su uso debe ser promovido con las medidas de protección adecuadas. Implementar sistemas de tratamientos de aguas residuales para brindar protección al productor y grupos de riesgo.

En las condiciones que se plantea el sistemas agroforestales se hacen necesarias alternativas que permitan su ejecución, difusión y conocimiento del mismo sus ventajas y desventajas que este presenta para la región.

9. LITERATURA CITADA

- Anaya G., M. 1992. Socioeconomics and ecological potencial of Kochia as a order crop to complement Rangeland Management in arid and semi-arid regions of México. 356-359. IVth Intemational Rangeland Congress. Montpellier.
- Anaya G., M. 1996. La *Kochia scoparia* L. Schrad (coquia) Una Opción Forrajera para zonas Áridas y Semi-áridas de México en: Estudios de casos de especies vegetales para las zonas Áridas y Semi-áridas de Chile y México. Serie: zonas Áridas y Semi-áridas. No 10, 47-110. FAO. Santiago de Chile. Chile.
- Anaya G., M. 2000. Coquia, *¡Una Real Opción Forrajera!* Guía Técnica. Sociedad de producción rural R. L. Edit. Colegio de postgraduados, México.
- Anaya G., M. Coord. 2004. Siembra aérea de *kochia scoparia* en la zona federal del ex-lago de Texcoco. Reporte técnico. Colegio de postgraduados. Campus Montecillo. P 29.
- Andrade M., L., P. Marcet, M. Reyzábal L. y M. Montero G. 2000. Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos. Edafología 7-3:21-29.
- Ajhuacho, E., Tanaka, S. 2003. Recuperación y disminución de la salinidad del suelo. Artículos de Investigación, Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia No.2, 2003. 5 p.
- Black, C., A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Florida.
- Bradl, H., A. 2005. Heavy metals in the environment. Vol. 6, University of Applied Sciences TrierNeubrucke, Germany. 269 pp.

- Camacho M., F. 1994. Dormición de semillas, causas y efectos; Editorial Trillas, México, 125 pág.
- Cámara, D. y Alberto O. 1994. Impacto de la agricultura bajo riego sobre la calidad del agua: caso del Valle del Yaqui, Sonora. Ingeniería hidráulica en México 9(3): 57-71.
- Carrillo G., R., J. Cajuste L. y L. Hernández H. 1992. Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Terra 10(2): 166-173.
- Castellanos J., Z.; Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2ª. ed. Colección Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA). San Miguel de Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- Casierra-Posada, F.; Poveda, Jeimy. 2005. La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria sp. cv. Camarosa*) Agronomía Colombiana, vol. 23, núm. 2, pp. 283-289 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia.
- CATIE, 1998. Plantaciones de arboles en líneas. CATIE/GTZ, Turrialba Costa Rica. 117p.
- CONAGUA (Comisión Nacional de Agua). 2008. Estadísticas del Agua en México. SEMARNAT. México. 231 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional de Agua). 2009. Distrito de riego 028 de Tulancingo, Hidalgo. Plan de riego 2009-2010.
- Cordero P., L., E. Jiménez C., C. 2003. Método para la “estimación” del rendimiento de forrajes de corte. Universidad de Costa Rica Facultad de Ciencias Agroalimentarias Escuela de Zootecnia.

- Cortés, M. E. J., C. Tejeda G. y C. I. Sánchez V. 1993. Aprovechamiento de aguas residuales en la agricultura. Situación actual en México. Comisión Nacional del Agua. México, D. F. 13 p.
- Cramer, D. 1993. Cytological aspects of salt tolerance in higher plants. En: Salinity tolerance in plant strategies for crop improvement. Eds. R.C. Strapler and G.H Toeniessen. Wiley and Sons. Nueva York. p.16
- David, M. y R. Struchtemeyer. 1990. Effects of spraying sewage effluent unforested land al Sugarloaf Mountain, Maine. Boletín 773, Universidad de Maine en Orono. USA. 86 p.
- De la Parra, C., A. y A. L. Rodríguez. 1991. El Poyecto SIDETRAN: dejando atrás el concepto "aprovechamiento de aguas negras". Ponencia presentada en el Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua, 21-25 de octubre. Ciudad de México, D. F. 8 p.
- Díaz L. 1995. Potencial productivo de la *Kochia scoparia* en suelos salinos del Valle de México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgrado. Montecillo. México. 260 p.
- Dregne, H.E., Xiong, Z. & Xion, S. 1995. Soil salinity in China. Ed. H.E. Dregne. Texas Tech University Press. USA. p. 28
- Durán C., R. y R. Hernández G. 1992. Efecto de las aguas residuales en la agricultura (con énfasis en la horticultura). Tesis Profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 173 p.
- Efroymsen, R. A., M.E. Will, G.W. Suter y A.C. Wooten. 1997. Toxicological benchmarks for screening contaminants of potential concern for effects

on terrestrial plants. Department of Energy, Office of Environmental Management Activities at the East Tennessee Technology Park. 123 p.

Egide, L. N., G. Petersen W., M. Imhoff L., H. Sinclair R., Jr, S. Waltman W., D. Reed-Margentan S., E. Levine R., and J. Russo M.. 2001. Assessing the impact of land conversion to urban use on soils with different productivity levels in the USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 391-402.

ERIC III, (Extractor Rápido de Información Climatológica). 2006. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, IMTA. Versión CD – ROM.

FAO. 1973. Definiciones de las unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Boletín 33 de los recursos de suelos del mundo de la FAO., Roma, Italia.

FAO/CIRF, 1980. Recursos genéticos de especies arbóreas en las zonas áridas y semiáridas. Roma. pp. 136.

Felker, P. 1981. Uses of tree legumes in semiarid regions. *Economic Botany.* 35(2): 174-186.

Flores D., A., V. V. Gálvez, L. O. Hernández, J. G. López, A. Obregón, R. Orellana, L. Otero y M. Valdés. 1996. Salinidad un nuevo concepto. Ed. Universidad de Colima. México. 137p.

Foth, H. 1986. Los suelos y la nutrición mineral de las plantas. Calcio y Magnesio. *Fundamentos de la ciencia del suelo.* Cap 12 pg. 318.

García-Aguilera E., O., A. Martínez-Jaime, S. Torres y J. T. Frías-Hernández. 2000. Escarificación Biológica del Mezquite (*Prosopis laevigata*) con diferentes especies de ganado doméstico. *In:* Frías-Hernández J. T., V. Olalde-Portugal y E. J. Vernon-Carter (Eds.). *El Mezquite Árbol de Usos Múltiples.* Estado actual del conocimiento en México. Universidad de Guanajuato, México. pp. 117-123.

- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen. 5ta. ed. Instituto de geografía, UNAM. México.
- Gómez V., M., I. 2002. Especies arvenses con capacidad para remover Cd, Pb y Zn, de los suelos del Valle del Mezquital Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México, 76 p.
- Granados S., D. y L. Pérez C. 1995. Destrucción del planeta y Educación Ambiental. Dirección de Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 200 p.
- Gutiérrez C., M., A. 1995. Nutrición vegetal y uso de fertilizantes. Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Son. 115 p.
- Gutiérrez L., A. 2000. Comparación forrajera de Quinoa coquia y Alfalfa bajo condiciones de riego y sequía. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. Tesis profesional, que como requisito para obtener el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas. 92p.
- Harvey, C., A.; Villanueva C.; Villacis J. y Chacón M. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. Agroforestería en las Américas Vol. 10 N° 39 - 40
- ICRAF 1996. International Center for Research in Agroforestry: Annual Report, ICRAF, Nairobi, Kenya.
- ICRAF 1997. "Redefining agroforestry-an opening Pandora's box?" Agroforestry Today, Vol. 9, núm. 1, 5 p.
- ICTA (INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS). 2002. Generación de tecnologías para el cultivo de Coquia (*Kochia scoparia* L.

Schaard Var. Esmeralda), como planta forrajera potencial para el altiplano guatemalteco, Informe Final de Actividades Sub Área de Especies Menores ICTA Labor Ovalle, Quetzaltenango.

Iñigo, B. V., P. Imaz, M. J., Alberto, E. 2007. Riego con aguas residuales de la industria agroalimentaria y calidad del suelo en el valle del Ebro en Navarra, España. *TERRA Latinoamericana*. 25:239-250.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2001. Perspectiva de aprovechamiento de las aguas residuales en la agricultura. SEMARNAT. México. 110 p.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1995. Fotografías aéreas (f14d82c y f14d82f) escala 1:75000. Aguascalientes, México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2000a. Clima. Conjunto de datos Vectoriales de la Carta Geológica escala 1:250 000. Serie I. Aguascalientes, México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2000b. Edafología. Conjunto de datos vectoriales de la Carta Edafológica escala 1:250000. Serie I. Aguascalientes, México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2000c. Geología. Conjunto de datos Vectoriales de la Carta Geológica escala 1:250 000. Serie I. Aguascalientes, México.

Ippollito, J., K. Barbarick y E. Redente. 1999. Co-application effects of water treatment residuals and biosolids on two range grasses. *J. Environ. Qual.* 28:1644-1650.

Jaramillo J., D. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colombia.

- Jiménez C., B. 2002. La contaminación ambiental en México. Editorial Limusa, México D.F. 925 p.
- Kijne, J.W., Prathapar, I., Wopereis, M.C.S. & Sahrawat, K.L. 1998. How to manage salinity in irrigated lands. A selective review with particular reference to irrigation in developing countries. SWIM- Paper system Wide-initiative for wáter management. IMMI. 2:33
- Korentajer, L. 1991. A review of the agricultural use of sewage sludge benefits and potential hazards. *Water, Air and Soil Pollution*. 17:189-196.
- Lapeña B., L., V. Escoín R., M. Cerezo E., V. Flors H. y P. García A. 1994. Riego con agua residual y urbana depurada en la Plana de Castellón: Un estudio de 10 años. Universidad Jaume I. Departamento de Ciencias Experimentales, Área de fisiología vegetal. Castellón, España.
- Layne G. J. A., J. R. Méndez, y F. J. Mayz. 2007. Efecto de la salinidad del suelo sobre la germinación de semillas de maíz de diferentes pesos en el oriente Venezolano. 12 p.
- López M., F.,J. 2005. Valoración económica del agua en el distrito de riego 028, Tulancingo, Hidalgo. Tesis de maestría, UACH; Chapingo. México.
- López F., Y., L.; Goycoolea F., M.; Valdez M., A.; Calderón De La Barca A., M. 2006. Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia*, marzo, año/vol. 31 número 003 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela, 183-189 p.
- López-Sánchez E., Musálem, M. A. 2007. Sistemas agroforestales con cedro rojo, cedro nogal y primavera, una alternativa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales en los Tuxtlas, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(1): 59-66, 2007.

- Maldonado-Aguirre L., J. Y F., E., De la Garza P. 2000. El Mezquite en México: Rasgos de Importancia Productiva y Necesidades de Desarrollo. En: Frías-Hernández J. T., V. Olalde-Portugal y E. J. Vernon-Carter (Eds). El Mezquite Árbol de Usos Múltiples. Estado actual del conocimiento en México. Universidad de Guanajuato, México. pp. 37-50.
- Marschner, H. 1998. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, CA. pp. 313-396.
- Mendoza-Grimón V., R. Rodríguez-Martín, J. R. Fernández V., M. P. Palacios D. y J. M. Hernández M. 2003. Estudio de la disponibilidad del fósforo y boro aportados por las aguas depuradas en la isla de Gran Canaria: metodología y resultados preliminares. Estudios de la zona no saturada del suelo. Vol VI.
- Mc Bride, M., S. Sauve y M. Hendershot. 1997. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. Eur. J. Soil Sci. 48: 337.346.
- Montoya-Reyes F. 2010. Características físicas y químicas de suelos regados con aguas residuales del distrito de riego 028 y metales pesados en *Medicago sativa* Tesis Profesional. UACH; Chapingo. México.
- Morales G., M. 2008. Manual de escuelas de campo, guía metodológica. 1^{er} ed. Folleto técnico N° 10. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México 48p.
- Musálem, S., M., A. 2001. Sistemas Agrosilvopastoriles: Una alternativa de desarrollo rural para el trópico mexicano Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. p. 95.
- Nair, P., K., R. 1993. Tree-Crop Interactions in Sustainable Agroforestry Systems. XV World Congress of Soil Science. Acapulco, México.

- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 73 p.
- Odul, P.A., P. Felker, C.R. McKinley y C.E. Meier. 1986. Variation among selected *Prosopis* familie for pod sugar and pod protein contents. *Forest Ecology and Management*. 16:423-431.
- Ortiz R.; Hernández, J.; García, R., 1988. Digestibilidad aparente (in vivo) de la *Kochia scoparia*. Reunión Bianual de Nutrición Animal. Memorias de los años 86 -88. Saltillo. Coahuila. México.
- Pérez V., S. 2011. Evaluación económica del uso de aguas residuales en el modulo II del distrito de riego 028, Tulancingo, Hgo. Tesis profesional, que como requisito para obtener el título de ingeniero en recursos naturales renovables. Chapingo, Mexico. Pp 99.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola Española. S.A. Madrid. España. p. 92
- Plan Municipal de Desarrollo de Tulancingo de Bravo. 2006-2009. Tulancingo, Hidalgo. 111p.
- Ramírez P., B., L. 2002. Caracterización y alternativas productivas para fincas ganaderas establecidas en la Amazonía Colombiana. *Agroforestería en I as Américas* Vol. 9 33 – 34
- Ramírez R., W. 2005. Manejo de Sistemas Agroforestales. 11 p.
- Ramos M., C. 2000. Propiedades físicas y químicas de los suelos del campo agrícola experimental chapingo, tablas San Martin y Xaltepa. Tesis profesional, UACH; Chapingo. México.

- Ramos B., R., L. Cajuste J., R. Flores R., C. García E.N. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia*. 35:385-395.
- Reyes M.,D. 1983. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el uso y manejo del agua. México. SARH-INIA. 39 p.
- Robledo S., E. y R. Maldonado T. 1997. Manual de procedimientos para el análisis de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 124 p.
- Rodríguez T., S. Arruda, F. Cleidson, F. Machado y L. Arnaldo. 2006. Productividade de de milho e de Feijoo consorciados adubados con diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de la Ciencia del Solo y Nutrición Vegetal*. 6(1): 52-63.
- Rojas F. Canessa, R; Ramírez, J. 2004. Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica. ICAFE- ITCR. Cartago, 151 p.
- Romero R., J., A. 1999. Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. 3a. ed. Alfaomega, México.
- Sáenz F., R. 1998. Introducción y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura. In: OPS. Modernización y avances en el uso de aguas negras para la irrigación: intercambio de aguas uso urbano y riego. Washington, D.C.
- Sánchez A. 1994. Efecto de la fertilización nitrogenada y densidad de población sobre calidad y producción forrajera potencial en *Kochia scoparia* L Schard. Tesis de Maestría. Colegio de Postgrados. Montecillo. México, pp. 120.
- Sancho J. 1992. Programa Agua Limpia. Estrategia Nacional. Ingeniería Sanitaria y Ambiental No. 5.

- Simonete, M., J. Kiehl y T. Andrade. 2003. Efeito do lodo de esgoto em Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38(10): 1187-1195.
- Soler, R., P. Brunetti y N. Senesi. 2002. Comparative chemical and spectroscopic characterization of humic acids from sewage sludges and sludge-amended soils. *Soil Sci.* 167: 235-245.
- Szaboles, A.A. 1990. Impact of climate change on soil attributes. Influence on salinization and alcalinization. Ed. H.W. Scharpensed. Elsevier Science Publisher. New York. p. 61
- Tiller, K. G. 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. *Advances in Soil Science.* 9: 113-141.
- US-EPA, US-Environmental Protection Agency. 1993. Standards for the use and disposal of sewage sludge. USEPA. Cincinnati. OH. (40 CFR Part 503). Final rule.
- Valera V., G. 2006. Dinámica del cambio de uso de suelo y su efecto en los escurrimientos superficiales de la microcuenca del río Chico de Tulancingo, Hidalgo. Tesis profesional, UACH; Chapingo. México.
- Vargas A. 1999. Síntomas de toxicidad y contenido de macro y micronutrientes en plantas de banano (*Musa AAA*) bajo condiciones de cultivo hidropónico. *CORBANA* 24(51): 61-78.
- Vázquez, A. A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. 2da. Edición. Universidad Autónoma Chapingo. 31 p.
- Velázquez, M.A., M. Ortega E., A. Martínez G., J. Kohashi Sh. Y N. García C. 2002. Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Terra Latinoamericana.* 20:459-464.

Veliz, L., E. Llanes, O., J., G. Asela F., L. y Bataller V., M. 2009. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 40, No.1.

Young A. 1997. Agroforestry for soil management. 2da Edicion. Centre for Research in Agroforestry. Nairobi, Kenya. 320 p.

Zamora, F., N. Rodríguez, D. Torres y H. Yendis. 2008. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. Bioagro 20(3):193-199. ISSN 1316-3361.

10. ANEXOS

ANEXO (1) PRIMER TALLER

Asuntos a tratar con los productores del Distrito de Riego 028 Tulancingo, Hidalgo en la reunión del 24 de Febrero del 2011.

INFORME

PRIMERA TALLER:

SISTEMA AGROFORESTAL COQUIA-MEZQUITE ESTABLECIDO EN SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO

DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO 24 DE FEBRERO DE 2011

OBJETIVOS PARTICULARES

Presentar el proyecto de Tesis “ SISTEMA AGROFORESTAL COQUIA-MEZQUITE ESTABLECIDO EN SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO ”.

Acordar la colaboración del proyecto por parte de los productores del distrito de riego 028 Tulancingo Hidalgo.

SEDE Y PARTICIPANTES

--

**DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES
DEL PROGRAMA**

HORA	ACTIVIDAD
11:00 11:10	– Registro de Participantes
11:10 11:30	– Bienvenida Objetivos y Expectativas
11:30 11:35	– Instalación del Taller
11:35 11:40	– Presentación de Participantes
11:40 12:00	– Resumen Proyecto, SISTEMA AGROFORESTAL COQUIA-MEZQUITE ESTABLECIDO EN SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO Perspectivas del Manejo Sustentable de los recursos en el distrito de riego 028 Tulancingo Hidalgo.
12:00- 12:30	Se hablo de las especies “manejo y plantación”
12:30 13:00	– Acuerdos, compromisos y conclusiones alcanzadas

RESULTADOS

--

DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO HIDALGO.

Nombre del productor:

Fecha: 24/ Febrero/ 11

CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE CULTIVOS

1. Características de las parcelas donde se practica el sistema de cultivo
Se encuentran en pendiente o con salinidad (algún otro problema)
2. ¿Cuales son las especies y variedades cultivadas?
3. ¿Las especies se cultivan asociadas o en cultivo puro?
4. ¿Hay uno o varios ciclos practicados en una misma parcela un mismo año?
¿Cuáles son las sucesiones de cultivo en varios años?
5. ¿Cuál es el itinerario técnico practicado?
6. ¿Cómo el campesino asegura la reproducción de la fertilidad
7. ¿Cuáles son los productos y subproductos obtenidos?
8. ¿Cuáles son los límites técnicos del sistema?
9. Resultados económicos

SISTEMA DE CRIANZA

1. Características del rebaño
El productor cuenta con
Vacas.....___
Burros.....___
Borregos.....___
Caballos.....___
Gallinas.....___
Mula.....___
2. Cuantas crías en promedio tiene las vacas

3. Como es el manejo del rebaño por el criador

4. Los productos obtenidos y los resultados
Huevo.... _____
Leche.... _____
Otros..... _____

5. Donde se comercializan los productos o animales

6. Abrevado y alimentación

7. Salud de los animales

8. Alojamiento de los animales

9. Límites técnicos del sistema

10. Condiciones de explotación del rebaño

11. Resultados económicos

ANEXO (2)

SEGUNDO TALLER

Asuntos a tratar con los productores del Distrito de Riego 028 Tulancingo, Hidalgo en la reunión del 15 de Marzo del 2011.

INFORME

SEGUNDO TALLER:

SISTEMA AGROFORESTAL PARA PRODUCTORES EN EL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO

DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO 15 DE MARZO DE 2011

OBJETIVOS PARTICULARES

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Selección de especies manejo y plantación.- Información de los análisis de los suelos.- Determinar los pasos a seguir. |
|--|

SEDE Y PARTICIPANTES

--



DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DEL PROGRAMA

HORA	ACTIVIDAD
11:00 – 11:10	Registro de Participantes
11:10 – 11:30	<p>Bienvenida</p> <p>Objetivos y Expectativas</p>
11:30 – 11:35	Instalación del Taller
11:35 – 11:40	Presentación de Participantes
11:40 – 12:00	Resumen Proyecto, Selección de las especies “manejo y plantación” de igual modo se entrego la información de forma impresa. Se informo de los resultados del análisis de los suelo la problemática a la que nos enfrentábamos.
12:00- 12:30	Se hablo de las especies “manejo y plantación”
12:30 – 13:00	Acuerdos, compromisos y conclusiones alcanzadas

RESULTADOS

--

ANEXO (3)

TERCER TALLER

Asuntos a tratar con los productores del Distrito de Riego 028 Tulancingo, Hidalgo en la reunión del 12 de Junio del 2011.

INFORME

TERCER TALLER:

SISTEMA AGROFORESTAL COQUIA-MEZQUITE ESTABLECIDO EN SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO

DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO 15 DE MARZO DE 2011

OBJETIVOS PARTICULARES

- Dar a conocer los avances del proyecto.
- platica sobre el manejo de las especies y su potencial agropecuario.
- Realizar encuestas para conocer la percepción de los productores sobre esta experiencia.

SEDE Y PARTICIPANTES

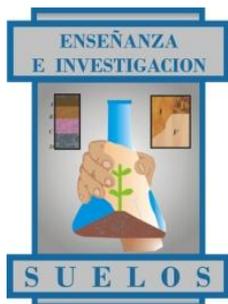


DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DEL PROGRAMA

HORA	ACTIVIDAD
11:00 11:10	– Registro de Participantes
11:10 11:30	– Bienvenida Objetivos y Expectativas
11:30 11:35	– Instalación del Taller
11:35 11:40	– Presentación de Participantes
11:40 12:00	– Resumen Proyecto, dar a conocer los avances del proyecto, se realizó una plática donde se explico el manejo de las especies y su potencial agropecuario. De igual forma se hizo una serie de encuestas con preguntas de carácter cuantitativo y cualitativo con el objetivo de conocer la percepción de los productores sobre esta experiencia.
12:00- 12:30	Se hablo de las expectativas a futuro del sistema
12:30 13:00	– Acuerdos, compromisos y conclusiones alcanzadas

RESULTADOS

--



ENCUESTA

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

Proyecto de tesis; SISTEMA AGROFORESTAL COQUIA-MEZQUITE ESTABLECIDO EN SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 028 TULANCINGO, HIDALGO

Nombre del productor _____ N° encuesta _____

Localidad: _____ Municipio: _____ Estado: _____

Cultivo: _____ Superficie (ha): _____ Fecha de entrevista: _____

NOTA: Marque con una X la respuesta pertinente

1. Tenencia de la tierra:

COMUNAL () EJIDAL () PRIVADA ()

2. Forma de propiedad del terreno:

PROPIA () PRESTADA () RENTADA ()

3. Preparación del terreno:

Actividad	Jornales empleados/aplicaciones	Costo/ ha (\$)	Costo total por labor
Delimitación y limpia			
Subsoleo			
Barbecho			
Rastreo			
Nivelación			
Trazo de melgas			
Otras labores (estercolado encalado, etc.)			

Observaciones: _____

4. Siembra:

4.1 Tipo de semilla:

Cultivo y variedad: _____ Cantidad: _____ Precio (kg): _____

Cultivo y variedad: _____ Cantidad: _____ Precio (kg): _____

Cultivo y variedad: _____ Cantidad: _____ Precio (kg): _____

4.2 Tratamientos de pre siembra: SI () NO ()

4.3 Fecha de siembra del cultivo: _____

4.4 Densidad de siembra (Kg/ha): _____

4.5 Método y técnica de siembra:

Manual: () Mecanizado: ()

Voleo () Chorrillo: () Jornales: _____ Costos: _____

4.6 Resiembra: Si _____ No _____ Jornales _____

4.7 observaciones: _____

5. Fertilización

5.1 ¿Aplica fertilizantes?: SI _____ NO _____

5.2 ¿Aplica abonos orgánicos? _____

5.2.1 Origen del abono: _____

5.2.2 No. aplicaciones: _____

5.2.3 Métodos de aplicación: _____

5.2.4 Cantidad total aplicada: _____

5.2.5 Costo de aplicación: _____

6. Riego:

6.1 Tipo de agua utilizada para el riego (seleccione alguna de las opciones siguientes: ()

1) Riego rodado 2. Riego por bombeo

1. Riego con agua de pozo 4. Riego rodado + agua de pozo

6.2 Uso de aguas residuales:

Frecuencia de uso (días): _____ Tiempo de riego (hrs): _____

Costo por hora de riego: _____ Mano de obra utilizada: _____

Costo de un jornal: _____ Costo en mano de obra: _____

Costo por riego: _____ No. de riegos por año: _____

Costo anual: _____

6.3 Uso de agua de pozo:

Frecuencia de uso por año: _____ Tiempo de riego (hrs): _____

Costo por hora de riego: _____ Mano de obra utilizada: _____

Costo de un jornal: _____ Costo en mano de obra: _____

Costo por riego: _____

Costo anual: _____

2. Control de plagas y enfermedades: SI () NO ()

3. Control de malezas: SI () NO ()

4. Cosecha:

a) Manual _____ Mecanizado _____

b) Frecuencia de los cortes: _____

c) Número de cortes por temporada: P _____ V _____ O _____ I _____

d) Formas de utilización:

1. En verde _____ 2. Ensilado _____ 3. Henificado _____ 4. Deshidratado _____

5. Pastoreo _____

e) Rendimiento por corte / época _____

f) Rendimiento

g) Observaciones _____

5. Comercialización:

a) Destino de la producción _____

Autoconsumo (%) _____ Venta (%) _____ Lugar de venta _____

Directa _____ Intermediarios _____ Costo de transporte _____

b) Precios de venta : _____

6. Asistencia técnica:

Recibe asistencia técnica: No_X Si _____

Anexo 4. Clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH según la NOM-021.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 5. Interpretación de conductividad eléctrica.

CE ds m-1 a 25°C	Efectos
< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1 – 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 – 4.0	Moderadamente salino
4.1 – 8.0	Suelo salino
8.1 – 16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Muy fuertemente salino

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 6. Valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos.

Clase	Materia orgánica (%)
Muy bajo	< 0.5
Bajo	0.6 – 1.5
Medio	1.6 – 3.5
Alto	3.6 – 6.0
Muy alto	> 6.0

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 7. Nitrógeno inorgánico en el suelo.

Clase	N inorgánico mg/Kg
Muy bajo	0 – 10
Bajo	10 – 20
Medio	20 – 40
Alto	40 – 60
Muy alto	> 60

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 8. Interpretación de Fósforo por el procedimiento de Olsen.

Clase	P mg/Kg
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 - 11
Alto	> 11

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 9. Interpretación del contenido de potasio en el suelo.

Clase	K mg/Kg
Extremadamente pobre	< 25
Pobre	25 – 50
Medianamente pobre	-----
Mediano	50 – 75
Medianamente rico	75 – 100
Rico	100 – 125
Extremadamente rico	> 125

Fuente: Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo de Vázquez (1997).

Anexo 10. Valores que permiten clasificar los micronutrientes extraíbles con DTPA.

Clase	mg Kg/1			
	Fe	Cu	Zn	Mn
Deficiente	< 2.5	< 0.2	< 0.5	< 1
Marginal	2.5 – 4.5		0.5 – 1	
Adecuado	> 4.5	> 0.2	> 1	> 1

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 11. Interpretación de contenido de boro en el suelo.

Rango	ppm
Muy bajo	< 0.39
Bajo	0.39 - 0.79
Medio	0.80 – 1.29
Alto	1.30 – 2.10
Muy alto	> 2.10

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 12. Valores sugeridos de elementos tóxicos en el suelo según la tolerancia de los cultivos.

Clase	mg/Kg		
	Cd	Pb	Ni
Normal	0.35	35	50
Peligroso	3 – 5	100 – 300	100

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Anexo 13. Valores críticos a partir de los cuales se consideran suelos contaminados.

Elemento	Cd	Ni	Pb	Mn	Cu	Zn
Valor crítico	39	-	> 3000	-	1500	1800

Fuente: US-EPA (1993).