

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**EFFECTOS DE LA AGRICULTURA INTENSIVA EN LAS
PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL
SUELO Y SUS IMPLICACIONES EN LA CONSERVACIÓN DE
PASTIZALES NATIVOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
**DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

M.C. FLOR MARÍA SILVA ARREDONDO

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

FEBRERO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



EFFECTOS DE LA AGRICULTURA INTENSIVA EN LAS PROPIEDADES
FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y SUS IMPLICACIONES EN
LA CONSERVACIÓN DE PASTIZALES NATIVOS

TESIS

Que para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS
NATURALES

Presenta:

M.C. FLOR MARÍA SILVA ARREDONDO

COMITÉ DE TESIS

Dra. Marisela Pando Moreno
Directora de tesis

Dr. Humberto González Rodríguez
Asesor

Dra. Laura Scott Morales
Asesora

Dr. Eduardo Estrada Castellón
Asesor

Dr. Francisco Zavala García
Asesor externo

Linares, Nuevo León, México

Febrero del 2014

Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de Doctorado en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Donde se utiliza información de otros autores se otorgan los créditos correspondientes.

Flor María Silva A.
Flor María Silva Arredondo

Febrero del 2014

DEDICATORIA

Le dedico esta investigación con todo mi ser a mi esposo Jaime Eduardo Hinojosa Arellano por ser mi consuelo, fortaleza, compañía y apoyo en todos los momentos de mi vida. Te agradezco amor por formar parte de este gran logro y agradezco a Dios inmensamente por habernos hecho coincidir en nuestras vidas.

A esas dos personitas que son mi sol, que son mi fuente de inspiración, mi razón de ser, que me llenan de amor y mueven mi vida entera, a mi mayor orgullo y mi más grande satisfacción, mis hijos: Eduardo Francisco Hinojosa Silva y Leonor Hinojosa Silva.

Con todo mi amor le dedico también esta tesis a mi madre Leonor Arredondo Guzmán (+), ya que aunque Dios me apartó de tu lado siendo muy pequeña, tengo que agradecerte que todo lo maravilloso que existe en mi alrededor es gracias a que tú me diste la vida mamá, y estoy convencida que donde quiera que te encuentres sientes el gran amor que aun te tengo.

Con mucho cariño a mi padre Francisco Silva Cisneros por todo su apoyo. Gracias por su amor papá, gracias por ser padre y madre para mí, gracias por no abandonarme y enseñarme a ser una persona exitosa, a no rendirme, gracias porque desde niña usted ha sido siempre mi ejemplo a seguir. No dejo de agradecerle a Dios por haberme permitido tener un padre como usted. A Simona Irasema Ruiz Arguello por haberme cuidado de niña, por haberme regalado la dicha de tener los hermanos que tengo y por formar parte de mi familia

A mi hermana María Guadalupe Silva Arredondo por nunca abandonarme, por tomar el lugar de mi madre y por preocuparse por mí, por defenderme siempre y darme tanto cariño. A Marco Antonio Estrada Hernández y a mis sobrinos Toñito y Eleonora por formar parte de mi vida.

A mi hermano Francisco Silva Ruiz por todo su apoyo, por ayudarme mucho a crecer como persona y animarme a seguir adelante, por compartir conmigo tantos momentos, por conocer lo que significa este gran logro en mi vida y sobre todo por demostrarme a su manera su amor. Gracias por ser mi hermano te quiero mucho. A mi sobrinito Leonardo, por ser parte de mi vida.

A mi hermano Gustavo Francisco Silva Ruiz por su apoyo y su amor, por ser parte de mi vida y compartir conmigo este gran logro. Gracias por ser mi hermano te quiero mucho.

A mi suegra Hilda Elena Arellano Ochoa por su apoyo incondicional y ese amor de madre que siempre me ha brindado, por su atención, por su aliento y porque cuando a veces parecía tornarse oscuro todo, siempre me dio una luz para seguir adelante. Gracias por estar conmigo siempre en las buenas y en las malas y por compartir conmigo esta gran alegría.

A Lucero Hinojosa y mis cuñados Alejandro Hinojosa Arellano y Antonio Hinojosa Arellano por todo su cariño y apoyo, gracias por hacerme sentir parte de sus vidas. Los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a Dios por este logro más en mi vida, por darme fortaleza y todo lo necesario para terminar con éxito mi doctorado.

Le brindo mi más sincero agradecimiento a la Dra. Marisela Pando Moreno por su apoyo en todo momento, por su dedicación, entusiasmo y motivación para la realización de esta investigación, por su excelente asesoría, pero sobre todo por creer en mí y darme la oportunidad de trabajar con ella.

Al Dr. Humberto González Rodríguez por su disponibilidad y apoyo en la realización de mis análisis químicos en su laboratorio, por su aportación y ayuda en la revisión y elaboración de los análisis estadísticos del primer artículo y, por el tiempo dedicado a la revisión final de la presente investigación.

A la Dra. Laura Scott Morales, al Dr. Eduardo Estrada Castellón y al Dr. Francisco Zavala García por aceptar ser parte de mi comité de tesis y por el tiempo dedicado a la revisión de la presente investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para mi formación doctoral y, al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT) de la Universidad Autónoma de Nuevo León por el financiamiento de esta investigación dentro del proyecto registrado bajo la clave CA874-11.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por abrirme sus puertas, a la Facultad de Ciencias Forestales por hacerme sentir, que soy parte de ella y al Dr. Enrique Jurado Ybarra, Dr. Eduardo Estrada Castellón, Dra. Laura Scott Morales, Dra. Marisela Pando Moreno y al Dr. Israel Cantú Silva por compartir conmigo en esta última etapa de mis estudios doctorales sus conocimientos y experiencias.

Al Dr. José Marmolejo Monsiváis por su disponibilidad y brindarme su apoyo en la realización de los análisis microbiológicos correspondientes a esta investigación.

A Joel Bravo y Alfredo Ortega por formar parte de mi equipo de trabajo de campo, a Inés Yáñez, Elsa y César por su apoyo en los análisis para la caracterización química del suelo.

A mis compañeros y amigos de laboratorio de Zonas áridas por su apoyo y por esos momentos que compartimos juntos y que sin duda quedarán grabados para siempre.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Tema	Página
Dedicatoria	i
Agradecimientos	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	vii
Índice de Anexos	viii
Resumen	1
Abstract	3
Capítulo I. Introducción General	5
Hipótesis	8
Objetivos	9
Estructura de la Tesis	9
Literatura Citada	10
Capítulo II. Cambios en las Propiedades Físicas y Químicas de un Suelo Impactado por Agricultura Intensiva	14
Resumen	15
Abstract	16
1. Introducción	17
2. Metodología	18
2.1 Área de estudio	18
2.2 Sitios de muestreo	20
2.3 Determinación de las características físicas y químicas del suelo	21
2.4 Análisis estadísticos	24
2.5 Clasificación de las variables	24
3. Resultados y Discusión	24
4. Conclusiones	34
5. Literatura Citada	34
6. Anexos	37
Changes in the Chemical Properties of a Soil Impacted by Intensive Agriculture, North-eastern Mexico	43

Tema	Página
Capítulo III. Presencia de Nematodos Fitopatógenos en Áreas Agrícolas del Altiplano Mexicano	55
Resumen	56
Abstract	57
1. Introducción	58
2. Materiales y Métodos	61
2.1 Área de estudio	61
2.2 Muestreo	62
2.3 Análisis de laboratorio	63
2.4 Análisis estadístico	64
3. Resultados y Discusión	65
4. Conclusiones	67
5. Literatura Citada	68
Capítulo IV. Hongos Fitopatógenos en Suelos Gypsófilos del Altiplano Mexicano	76
Resumen	77
Abstract	78
1. Introducción	79
2. Materiales y Métodos	81
2.1 Área de estudio	81
2.2 Muestreo	82
2.3 Análisis de laboratorio	84
2.4 Siembra de suelo del área recién cosechada en medio de cultivo con diferentes concentraciones de TECTO 60	87
2.5 Análisis estadísticos	89
3. Resultados y Discusión	89
4. Conclusiones	97
5. Literatura Citada	98
6. Anexos	102
Capítulo V. Conclusiones generales	109
Conclusiones	109
Recomendaciones	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Capítulo II.	
1. Ubicación del área de estudio	19
2. Fotografías de las áreas de estudio con diferente tiempo de abandono y el pastizal natural	20
Capítulo III.	
1. Ubicación del Área de estudio	62
2. Muestreo sistemático en zig-zag realizado	63
3. Pasos del método de centrifugado y flotación de azúcar para la identificación de nematodos	64
4. Género <i>Helicotylenchus</i> detectado en el pastizal natural y el sitio con 7 años de abandono	66
Capítulo IV. Hongos Fitopatógenos en Suelos Gypsófilos del Altiplano Mexicano	
1. Ubicación del Área de estudio	82
2. Muestreo sistemático en zig-zag realizado	83
3. Colecta de muestras de suelo en campo	83
4. Tubérculos de papa con daño evidente colectadas en un área recién cosechada	84
5. Cultivo y aislamiento de los hongos	86
6. Cultivos con suelo del área recién cosechada en agar con TECTO 60	88
7. Características macroscópicas de los tubérculos de papa afectados	93
8. <i>Fusarium oxysporum</i> encontrado en los tubérculos de papa afectados y en suelo. A la izquierda en los tubérculos de papa y a la derecha en el área recién cosechada y las áreas con 2, 3 y 7 años de abandono	94
9. Algunas especies encontradas en el área recién cosechada: a) <i>Penicillium sp2</i> , b) <i>Cladosporium sp</i> , c) <i>Penicillium sp</i> , d) <i>Aspergillus niger</i> , e) <i>Penicillium sp1</i> , f) <i>Fusarium sp1</i> , g) <i>Penicillium sp3</i> , h) <i>Alternaria sp i) Rhizophus stolonifer</i>	94
10. Dendograma mostrando los grupos de las áreas evaluadas de acuerdo a su composición de especies	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Capítulo II.	
1. Valores promedio (n=5) ± desviación estándar de densidad aparente	28
2. Clasificación de los valores de densidad aparente en grupos de los subconjunto homogéneos basada en el grado de parecido existente entre sus medias de acuerdo a HSD de Tukey ^a	29
3. Valores de P de Mann Whitney U con la prueba de corrección en la profundidad de 0-10 cm.	30
4. Valores de P de Mann Whitney U con la prueba de corrección en la profundidad de 10-30 cm.	31
5. Clasificación de suelos (colores) de las variables analizadas y valores promedio (n=6), ± desviación estándar de la profundidad de 0-10 cm.	32
6. Clasificación de suelos (colores) de las variables analizadas y valores promedio (n=6), ± desviación estándar de la profundidad de 10-30 cm.	33
Capítulo III.	
1. Resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey ^a ($\alpha=0.05$) ...	67
Capítulo IV. Hongos Fitopatógenos en Suelos Gypsófilos del Altiplano Mexicano	
1. Géneros y especies encontradas en las diferentes áreas de estudio, Su número de individuos (n=12), ± desviación estándar e índice de Simpson	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
Capítulo II.	
1. Valoración de densidad aparente (Da) de acuerdo a Woerner (1989)	37
2. Valoración de pH de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	37
3. Valoración de conductividad eléctrica (CE) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	38
4. Valoración de capacidad de intercambio catiónico (CIC) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	38
5. Valoración de materia orgánica (MO) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	38
6. Valoración de carbonatos (CaCO_3) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	39
7. Valoración de nitrógeno (Nt) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	39
8. Valoración de fósforo disponible (P) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	39
9. Valoración de potasio disponible (K) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	40
10. Valoración de magnesio disponible (Mg) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	40
11. Valoración de calcio disponible (Ca) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	40
12. Valoración de hierro disponible (Fe) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	41
13. Valoración de zinc disponible (Zn) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	41
14. Valoración de manganeso disponible (Mn) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	41
15. Valoración de cobre disponible (Cu) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000	42
16. Valoración de yeso (CaSO_4) de acuerdo a la FAO (2006)	42

Capítulo IV. Hongos Fitopatógenos en Suelos Gypsófilos del Altiplano Mexicano

1. Hongos encontrados en los tubérculos de papa afectados. A la izquierda la especie <i>Alternaria alternata</i> y a la derecha <i>Fusarium oxysporum</i>	102
2. <i>Alternaria alternata</i> encontrado en los tubérculos de papa afectados y en suelo. A la izquierda en los tubérculos de papa y a la derecha en el pastizal natural	103
3. <i>Fusarium oxysporum</i> encontrado en las áreas de 2, 3 y 7 años de abandono y área recién cosechada, <i>Fusarium sp</i> encontrado en el área de 7 años y <i>Fusarium sp 1</i> encontrado en el área recién cosechada	103
4. Especies de <i>Rhizophus</i> encontradas en las diferentes áreas de estudio	104
5. <i>Aspergillus clavatus</i> y <i>Curvularia lunata</i> encontradas en el pastizal natural y el área con 2 años de descanso	104
6. Especie <i>Alternaria alternata</i> encontrada en el pastizal natural	105
7. <i>Penicillium sp</i> encontrado en algunas áreas de estudio	105
8. <i>Penicillium citrinum</i> encontrado en el área con 3 años de abandono	105
9. <i>Acremonium sp</i> (círculo amarillo) y <i>Gliocladium videns</i> en los sitios con 12 y 13 años de descanso respectivamente	106
10. <i>Basidiomicetes sp</i> encontrada en las áreas de 2 y 12 años de abandono ...	106
11. <i>Penicillium lanosum</i> encontrado en el área con 12 años de abandono	106
12. Presencia del hongo <i>Fusarium oxysporum</i> en muestras de suelo del área recién cosechada en el grupo control	107
13. Presencia del hongo <i>Fusarium oxysporum</i> en muestras de suelo del área recién cosechada en la concentración de .25%	107
14. Presencia del hongo <i>Fusarium oxysporum</i> en muestras de suelo del área recién cosechada en la concentración de .5%	107
15. Presencia del hongo <i>Fusarium oxysporum</i> en muestras de suelo del área recién cosechada en la concentración de 1%	108
16. Presencia del hongo <i>Fusarium oxysporum</i> en muestras de suelo del área recién cosechada en la concentración de 2%	108

Resumen

Este estudio se desarrolló en un área semiárida, perteneciente al Desierto Chihuahuense, en el Altiplano del norte de México donde la apertura de nuevas áreas para la agricultura ha ocasionado la pérdida de cerca del 90% de los pastizales nativos de la región debido al abandono de las áreas de cultivo hasta por 12 años después de tan solo un ciclo de cultivo de papa. El objetivo de la investigación fue evaluar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, incluida la presencia de algunos microorganismos fitopatógenos presentes después de un ciclo de cultivo de papa con uso intensivo de agroquímicos. Se establecieron sitios de muestreo en áreas abiertas al cultivo de papa con diferentes años de abandono y, como sitio testigo, un área de pastizal natural. Los parámetros del suelo evaluados fueron: densidad aparente, pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, carbonatos de calcio, sulfato de calcio, fósforo extraíble, nitrógeno total, materia orgánica, sodio, potasio, magnesio, calcio, cobre, hierro, manganeso y zinc, a las profundidades de 0-10 cm y de 10-30 cm. Asimismo, se evaluó la riqueza y densidad de nematodos y de hongos en muestras de suelo de 30 cm de profundidad. La finalidad del estudio es, en última instancia, contar con información científica que permita mantener una producción estable del cultivo, año tras año en los mismos terrenos y con ello evitar que los productores de papa continúen abriendo nuevas áreas ocupadas con pastizales gipsófilos que constituyen un ecosistema de gran riqueza biológica. Al comparar las áreas abandonadas con el pastizal natural se detectó que algunos nutrientes, como es el caso del fósforo, magnesio, cobre y zinc, presentan concentraciones muy superiores a las del

pastizal natural aún después de 10 años de descanso de las áreas. Los valores de pH, conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica se mantuvieron prácticamente iguales a través del tiempo de evaluación. Se encontró una densidad menor de nematodos fitopatógenos en el área recién cosechada y los sitios con 3 y 7 años de descanso que en los sitios de 12 años de descanso y el pastizal natural. Se detectó la presencia de *Fusarium oxysporum* en tubérculos de papa enfermos así como en los sitios con 2, 3 y 7 años de descanso y la ausencia del mismo en los sitios con 12 años de descanso y el pastizal natural. Así mismo se encontró que la aplicación del fungicida TECTO 60, aún en concentraciones tres veces más altas que las utilizadas en campo en las áreas de estudio, no impidió el desarrollo de este hongo.

Abstract

This study was carried out in a semi-arid area, within the Chihuahua Desert, in the Northern Mexican Plateau where clearing for new agricultural areas has caused the removal of nearly 90% of native grasslands due to the abandonment of the areas for up to 12 years after only one cycle of potato crop. The research was aimed at evaluating changes in the physical and chemical properties of the soil, including the presence of some plant-pathogen microorganisms after a cycle of potato cropping with intensive use of agrochemicals. Sampling sites were established in areas that have different time of abandonment after potato cultivation and an area of native grasslands as control. The following soil variables were recorded: bulk density, pH, CIC, salinity, P, total N, organic matter, CaCO₃, CaSO₄, Na, K, Mg, Ca, Cu, Fe, Mn and Zn, at 0-10 and 10-30 cm depths. Also, richness and density of nematodes and fungus was evaluated at 30 cm depth. The purpose of the study is, ultimately, to generate scientific information that allows a sustainable crop production, year after year on the same land and thereby avoid that farmers continue clearing new areas of native gypsophyllous grasslands which constitute an ecosystem of great biological importance. Comparison of abandoned areas and native grasslands, showed that some nutrients, such as phosphorus, magnesium, copper and zinc, had higher concentrations in the abandoned areas than in the natural grasslands even after 10 years of abandonment. Values of pH, electrical conductivity, and content of organic matter remained practically the same throughout the time of evaluation. Density of plant-pathogen nematodes was lower in the recently harvested area and sites with 3 and 7 years of rest than in 12 years of rest and natural grassland

sites. The fungus *Fusarium oxysporum* was identified in some potato tubercles as well as in sites with 2, 3 and 7 years of rest and it was absent on sites with 12 years of rest and the natural grasslands. Application of TECTO 60 fungicide, even in concentrations three times higher than those used in field in the study areas, didn't prevent the development of this fungus.

CAPÍTULO I

Introducción General

El suelo es considerado uno de los recursos naturales más importantes en nuestro país, debido a que de sus condiciones depende el buen estado de los hábitats naturales, actividades agrícolas, ganaderas, forestales y urbanas (Lichtinger *et al.*, 2000). Su degradación es considerada el principal problema ambiental que compromete el futuro de los ecosistemas naturales de la nación (OCDE, 2003), contribuyendo a su vez en la pobreza, migración y seguridad alimentaria (Pérez y Landeros, 2009).

Una de las actividades antropogénicas más significativas que, a través del tiempo, ocasiona el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, es el uso inapropiado de las prácticas agrícolas (Amézquita, 1992; Buckley y Schmidt, 2001; Michelena *et al.*, 2008); las cuales traen como consecuencia la disminución del potencial productivo del suelo y, por ende, de su rendimiento agrícola (Lal, 2000). Bajo estas condiciones, el productor requiere emplear cada vez más fertilizantes para mantener los mismos rendimientos agrícolas (Oldeman *et al.*, 1992) y, con el afán de lograr un mayor aseguramiento de la producción utiliza, de manera inadecuada y excesiva, plaguicidas, provocando con ello un alto costo ambiental (Pérez y Landeros, 2009).

La región noreste de México incluye una gran extensión de zonas áridas y semiáridas particularmente afectadas por la degradación del suelo debido a la transformación de sus ecosistemas naturales a terrenos de agricultura de riego (McCready *et al.*, 2005). Un

claro ejemplo con respecto a este problema se presenta en los pastizales gipsófilos del Altiplano Mexicano del Noreste de México, los cuales contienen una riqueza natural de gran importancia para su conservación (Arriaga *et al.*, 2000) debido a que abrigan un considerable número de especies endémicas de flora como lo son *Dalea radicans*, *D. gypsophila*, *Machaeranthera crutchfieldii*, *M. gypsophila*, *Frankenia gypsophila*, *Aster gypsophila*, *Atriplex muricata* y *Bouteloua chasei* (Estrada-Castillón *et al.*, 2010) y de fauna como lo es el perro de las praderas (*Cynomys mexicanus*), especie, además de endémica del noreste de México, catalogada en peligro de extinción (Ceballos *et al.*, 1993; CITES, 2000; NOM-059-SEMARNAT-2001), así como otras especies amenazadas de mamíferos y aves como la zorra norteña (*Vulpes macrotis*), el tejón (*Taxidea taxus*), el gorrión de Worthen (*Spizella wortheni*), el tecolote llanero (*Athene cunicularia*) y el chorlito llanero (*Charadrius montanus*) (SEMARNAT, 2002).

De acuerdo a estudios realizados en el área (Arriaga *et al.*, 2000; Estrada-Castillón *et al.*, 2010; Pronatura Noreste [PNE] y The Nature Conservancy [TNC], 2007) dicha riqueza biológica se encuentra fuertemente amenazada debido al constante deterioro causado desde 1950 por las actividades de agricultura mecanizada (Treviño y Grant, 1998) y, principalmente, por la conversión de los pastizales a tierras de cultivo, particularmente de papa. De acuerdo a Estrada-Castillón *et al.* (2010) la pérdida total de pastizal reportada hasta el año 2007 en el noreste de México es de 71.5% de su superficie, ocasionando con ello la desaparición de los pastizales originales y, como consecuencia, la disminución de las poblaciones del perro de las praderas (*Cynomys mexicanus* Merriam.) en el noreste de México. Uno de los casos más notorios de degradación del

ecosistema en la región es el de los pastizales del Ejido El Tokio, donde su superficie ha sido removida en un 90% (Estrada-Castillón *et al.*, 2010). La problemática en esta área radica en que cada año se desmontan nuevas extensiones de pastizales ya que los productores de papa abandonan las áreas abiertas después de un solo ciclo de cultivo, argumentando que la producción decrece notablemente en un segundo ciclo. Esta baja en la producción ha propiciado que los ejidatarios dejen abandonadas las áreas recién cultivadas hasta por 12 años, periodo durante el cual desmontan sucesivamente nuevas áreas.

A pesar de la severidad del problema y de las repercusiones que éste tiene en la pérdida de hábitat para especies endémicas de la región, no existen estudios específicos del área que investiguen las causas de abandono de dichas tierras, acción que afecta a todo el ecosistema. En la actualidad las graves consecuencias ambientales, productivas y económicas causadas por la degradación del suelo, como es el caso del área de estudio, hacen de gran relevancia el estudio de los procesos y factores que inciden en la degradación del mismo, así como de la búsqueda de alternativas para contrarrestarlos (Domínguez *et al.*, 2006). Algunos autores mencionan que para conocer el nivel de deterioro de un suelo y el efecto que está produciendo el manejo cultural sobre la calidad de éste, es necesario cuantificar sus parámetros químicos, físicos y biológicos (Nielsen *et al.*, 2002).

Si deseamos que estos ecosistemas persistan, es necesario implementar estrategias de manejo sustentable a corto plazo en las áreas de pastizal del Ejido El Tokio. Para ello, debemos primeramente comprender la interacción cultivo de papa-suelo y responder

preguntas tales como: i) ¿disminuye la fertilidad del suelo después de un ciclo de cultivo de papa aún con los fertilizantes que aplican al mismo? ii) ¿hay carencia de algún nutriente clave para desarrollo del cultivo en un segundo ciclo?, iii) ¿cambia la compactación o salinidad de ese suelo haciéndolo desfavorable para el cultivo?, iv) ¿se crean condiciones favorables para el desarrollo de alguna plaga o enfermedad tras un primer ciclo de cultivo?. En el presente estudio se busca dar respuesta a estas interrogantes y, en síntesis, conocer la causa del abandono de esas tierras para proponer un plan de manejo que permita utilizarlas de manera continua o con ciclos de descanso más cortos, sin menoscabo de la producción, y con ello evitar nuevos desmontes y la pérdida de la riqueza biológica de esas áreas.

Hipótesis

Las hipótesis planteadas para la presente investigación fueron:

1. El suelo se ve empobrecido en sus características físicas y químicas tras un ciclo de cultivo de papa.
2. Las propiedades físicas y químicas del suelo se recuperan, a través del tiempo de descanso, posterior a un ciclo de cultivo de papa.
3. Existe mayor presencia de fitopatógenos en áreas abiertas al cultivo de papa que en áreas de pastizal natural aledaño.

Objetivos

Para responder las hipótesis anteriormente descritas se definieron los siguientes objetivos:

1. Evaluar y comparar las características físicas y químicas del suelo de áreas con diferente tiempo de descanso con un área de pastizal natural aledaño.
2. Determinar y comparar la presencia de nematodos fitopatógenos en el suelo de áreas con diferente tiempo de descanso con un área de pastizal natural aledaño.
3. Determinar y comparar la presencia de hongos fitopatógenos en el suelo de áreas con diferente tiempo de descanso con un área de pastizal natural aledaño.

Estructura de la Tesis

La tesis se encuentra estructurada en 5 capítulos: El capítulo 1 comprende la introducción general, en la cual se menciona tanto la problemática presentada en el área de estudio como las hipótesis y objetivos planteados para el desarrollo de la presente investigación. En el capítulo 2 se evaluaron cambios en las características físicas y químicas del suelo de áreas con 1, 2, 5 y 10 años de descanso, utilizando como sitio testigo un área de pastizal natural; las diferencias entre las propiedades de las áreas se analizaron a dos profundidades mediante la comparación de medias de Mann Whitney U con la prueba de corrección de Bonferroni. El capítulo 3 comprende la evaluación realizada para la determinación de la presencia de nematodos fitopatógenos en las áreas abiertas al cultivo de papa con 3, 7 y 12 años de descanso, un área recién cosechada y el

pastizal natural. En el capítulo 4 se determina la presencia de hongos fitopatógenos tanto en tubérculos de papa enfermos como en suelos de un área recién cosechada y áreas con 2, 3, 7 y 12 años de descanso comparándose con un área de pastizal natural. Por último, el capítulo 5 consta de una conclusión general de los resultados obtenidos en los capítulos que comprenden la presente investigación.

Literatura Citada

Amezquita, C. 1992. Procesos físicos de degradación de suelos en Colombia. Actualidades ICA (Colombia) 6 (70): 1-21.

Arriaga, L., Espinoza J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y E. Loa. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 609 p.

Becerra, M. 1998. “Conservación del suelo y desarrollo sustentable, ¿utopía o posibilidad en México?”. Departamento de Suelos/Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. pp. 1-7.

Buckley, D.H. and T.M. Schmidt. 2001. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology* 42, 11-21.

Ceballos, G. E., E. Melink y L. R. Hanebury. 1993. Distribution and conservation status of prairie dog *Cynomys mexicanus* in Mexico. *Biological Conservation* 63:105-112.

CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora). 2000. Listado vigente de las especies incluidas en los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, Geneve, Suiza. 684 p.

Domínguez, D., Otero, A., Ruiz, M., Márquez, E., y Y. Morejón. 2006. Causas y efectos de la degradación del suelo en un agrosistema dedicado al cultivo del tabaco. CITMA, Ciencia y Tecnología y Medio Ambiente. CIGET, Vol. 8 No. 4 octubre-diciembre 2006.

Estrada-Castillón, E., Scott-Morales, L., Villarreal-Quintanilla, J., Jurado-Ybarra, E., Cotera-Corre, M., Cantú-Ayala, C. y J. García-Pérez. 2010. Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. Revista Mexicana de Biodiversidad 81, 401- 416.

Lal, R J. 2000. Physical management of soils of tropics: Priorities for the 21 st century. Soil Science. 165:192-207.

Lichtinger, V., Szekely, F., Fernández, F. y A. Ríos. 2000. *Indicadores para la evaluación del desempeño. Reporte ambiental 2000*, INEGI. pp. 55-71.

McCready, B., Mehlman, D., Kwan, D. and B. Abel. 2005. The Nature Conservancy's Prairie Wings Project: A Conservation Strategy for the Grassland Birds of the Western Great Plains. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191*, 1158-1161.

Michelena, R., Morrás, H., y C. Irurtia. 2008. Degradación física por agricultura continua de suelos franco-limosos de la provincia de Córdoba. INTA - CIRN; Instituto de Suelos. Argentina.

Nielsen, N.M., Winding, A., Binnerup, S., Hansen, B.M. & N. Kroer. 2002. Microorganisms as indicators of soil health. National Environmental Research Institute (NERI). *Technical report* No. 388. Oldeman LR, Hakkeling RTA and Sombroek WG. World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, the Netherlands, and Nairobi. United Nations Environment Programme (1992).

OCDE-Organization for Economic Co-Operation and Development. 2003. Soil organic carbon and agriculture: developing indicators for policy analyses. Proceedings of an OECD expert meeting.

Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T. and Sombroek, W.G. 1992. *World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation: An Explanatory Note*. Wageningen: ISRIC.

Pérez, A. y C. Landeros. 2009. Agricultura y deterioro ambiental. Elementos 73. pp. 19 – 25.

Pronatura Noreste, A.C., The Nature Conservancy (compiladores)., 2007. *Plan de conservación de los pastizales del Altiplano Mexicano 2006 – 2010: Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas*. Monterrey, N.L., México. 171.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana-NOM-059-SEMARNAT-2001 Protección ambiental –especies nativas de México de flora y fauna silvestres- categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo, México, D.F.

Treviño, V.J. and Grant, W.E. 1998. Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy* 79:1273-1287.

CAPÍTULO II

Cambios en las Propiedades Físicas y Químicas de un Suelo Impactado por Agricultura Intensiva



Fotografía tomada en el área de estudio en la cual se muestra un área recién sembrada en la que existen madrigueras del perro llanero (*Cynomys mexicanus*) y a un costado un área de pastizal natural.

Al finalizar el desarrollo de este capítulo en extenso se muestra la versión publicada como: F. Silva-Arredondo, M. Pando Moreno*, H. González Rodríguez and L. Scott Morales. 2013. Changes in the Chemical Properties of a Soil Impacted by Intensive Agriculture, North-eastern Mexico. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* 2013, 4(2):126-131.

Resumen

El presente estudio se llevó a cabo en un área semiárida que forma parte del Desierto Chihuahuense en el Altiplano del noreste de México, con el objetivo de evaluar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo tras el cultivo intensivo de papa. Se establecieron sitios de muestreo en áreas abiertas al cultivo de papa con 1, 2, 5 y 10 años de descanso y, como sitio testigo, un área de pastizal natural. Se evaluaron densidad aparente (da), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), carbonatos de calcio (CaCO_3), sulfato de calcio (CaSO_4), fósforo extraíble (P extraíble), nitrógeno total (N total), materia orgánica (MO), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), cobre (Cu), fierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), a las profundidades de 0-10 cm y de 10-30 cm. Los resultados muestran que aun cuando los valores son estadísticamente iguales en todos los tratamientos incluido el pastizal natural, los valores de Nt, P extraíble, Mg, Cu y Zn correspondieron a rangos diferentes en la clasificación de suelos de la NOM-021-SEMARNAT-2000 y Woerner (1989), en los diferentes tratamientos. Caso contrario el de la densidad aparente, ya que aun cuando el sitio con 10 años de descanso se muestra menor estadísticamente que el pastizal natural, los valores corresponden al mismo rango dentro de la clasificación de suelos.

Palabras clave: cultivo de papa, Altiplano Mexicano, desierto Chihuahuense, pastizales gypsófilos, pastizales halófilos.

Abstract

The present study was carried out in a semi-arid area, within the Chihuahuan Desert, in the Northern Mexican Plateau. It was aimed at evaluating long term changes in the soil physical and chemical properties after one cycle of potato cultivation with intensive application of agrochemicals. Sampling sites were established in areas that have 1, 2, 5 and 10 years of abandonment after potato cultivation and an area of native grasslands as control. Potato cultivation is carried out by a company that rent the land to the peasants, so cultivation is done in the same way all over this area. For each site, the following variables were evaluated: bulk density, pH, CIC, salinity, P, total N, organic matter, CaCO₃, CaSO₄, Na, K, Mg, Ca, Cu, Fe, Mn and Zn, at 0-10 and 10-30 cm depths. Results showed that even though sites were statistically equal for all the evaluated variables, there were some variables (Total N, extractable P, Mg, Cu and Zn) that fell in different ranges according to the Mexican NOM-021-SEMARNAT-2000 of soil classification. Unlike the bulk density, because even though the site with 10 years off minor shown statistically that the natural grassland, the values correspond to the same rank within the classification of soils

Key words: agrochemicals, potato cropping, Chihuahuan Desert, Mexican plateau.

1. Introducción

Las prácticas agrícolas y de manejo del suelo son las actividades antropogénicas más significativas que alteran las características físicas y químicas del suelo (Buckley & Schmidt, 2001) las cuales, al ser inadecuadas, traen consigo su degradación (Michelena *et al.*, 2008). En la actualidad, se ha incrementado el interés por determinar las consecuencias de las prácticas agrícolas en las propiedades del suelo debido a la importancia que éste tiene como componente esencial de la salud del ecosistema (Schoenholtz *et al.*, 2000). Diversas investigaciones han sido orientadas hacia la determinación de indicadores que permitan estimar el estado actual y las tendencias en la calidad del suelo mediante la evaluación de sus propiedades físicas y químicas, con la finalidad de establecer estrategias de manejo sustentable (Sacchi y De Pauli, 2002; Inzunza-Ibarra & Curtis, 2005; Alejo-Santiago *et al.*, 2012).

La región noreste de México incluye una gran extensión de zonas áridas y semiáridas particularmente afectadas por la degradación del suelo debido a la transformación de los ecosistemas naturales a terrenos de agricultura de riego (McCready *et al.*, 2005). Un claro ejemplo con respecto a este problema se presenta en los pastizales del Altiplano Mexicano del Noreste de México el cual cuenta con una gran riqueza biológica cuya conservación es importante (Arriaga *et al.*, 2000). De acuerdo a estudios realizados en el área (Estrada-Castillón *et al.*, 2010; Pronatura Noreste [PNE] & The Nature Conservancy [TNC], 2007) dicha riqueza se encuentra fuertemente amenazada debido principalmente a la conversión de los pastizales gipsófilos a tierras de cultivo,

particularmente a cultivo de papa. La problemática principal radica en que desde el año de 1950 que dio inicio la actividad de agricultura mecanizada en el área (Treviño y Grant, 1998), cada año se desmontan nuevas extensiones de pastizales debido a que los productores de papa abandonan las áreas abiertas para este cultivo después de un solo ciclo, argumentando que la producción decrece notablemente en un segundo ciclo de cultivo. Esta baja en la producción ha propiciado que los ejidatarios dejen abandonadas las áreas recién cultivadas hasta por 12 años, periodo durante el cual han desmontado sucesivamente nuevas áreas, hasta llegar a remover en un 90% los pastizales naturales en el área de estudio. Es por ello la necesidad de implementar nuevas estrategias de manejo para una agricultura sustentable y, un requisito insalvable para que estas estrategias sean exitosas, es conocer la dinámica que se da en las propiedades de los suelos sujetos a ese tipo de agricultura. De ahí que esta investigación estuvo dirigida a comparar las características físicas y químicas del suelo de áreas con diferente tiempo de descanso contra un área de pastizal natural aledaño, con la finalidad de conocer los cambios en las propiedades del suelo y sentar las bases para propuestas de manejo sustentables en la región.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El área de estudio forma parte del Desierto Chihuahuense y se encuentra ubicada en el Altiplano Mexicano del noreste de México (Figura 1) (24° 40' 55'' N, 100° 14' 20'' O),

a una altitud entre 1900 y 2000 msnm. El área presenta especies animales y vegetales de gran importancia de conservación por encontrarse en algún estatus dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001, tal como lo es el perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*), la lechuza llanera (*Athene cunicularia*), el chorlito llanero (*Charadrius montanus*) y el águila real (*Aquila chrysaetos*), así como *Frankenia gypsophila* y *Bouteloua chasei* entre otras. Los tipos de suelo predominantes en el área son ligeramente alcalinos, tipo solonchack con una fase petrogípsica y xerosoles háplicos (INEGI, 1981). El clima de la región es seco semicálido o árido, con una precipitación media anual de 333.8 mm y una temperatura media anual que oscila entre los 18 y los 22°C (García, 1981). Por los últimos 40 años se han removido extensas áreas de pastizal para el cultivo de papa. Este cultivo es llevado a cabo por una empresa privada que renta la tierra en toda la zona, por lo cual las prácticas de cultivo se realizan de manera estandarizada.

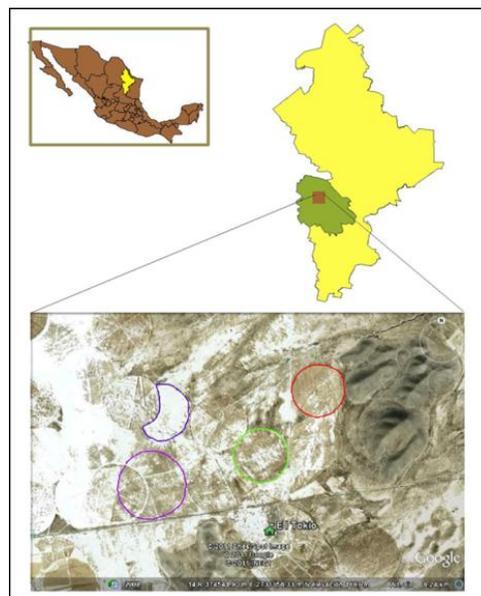


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Áreas delimitadas con colores consisten en los pivotes de siembra.

2.2 Sitios de muestreo

Se seleccionaron áreas agrícolas con: 1, 2, 5 y 10 años de descanso y, como testigo, un área de pastizal natural (Figura 2). Para el muestreo se seleccionaron tres parcelas de 1 hectárea para cada condición de sitio y, en cada parcela, se obtuvieron 5 submuestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm y 10-30 cm), distribuidas en la parte centro, norte, sur, este y oeste de cada parcela, a una distancia de 100 m entre sí. Con las 5 submuestras de cada parcela, se hizo una mezcla homogénea, resultando 30 muestras a analizar para las diferentes áreas agrícolas y el sitio testigo. Los muestreos se realizaron en el mes de febrero del 2011. La textura en todos los sitios evaluados fue franco limosa fina.



Figura 2. Fotografías de las áreas de estudio con diferente tiempo de abandono y el pastizal natural.

2.3 Determinación de las características físicas y químicas del suelo

Las propiedades físicas y químicas se evaluaron mediante las siguientes técnicas básicas de laboratorio descritas según la NOM-021-RECNAT-2000 y Woerner (1989):

Densidad aparente. Se analizó por determinación gravimétrica en muestra no alterada, la cual consiste en determinar el peso constante de una muestra con volumen definido (100 cm^3) (Woerner, 1989). La densidad aparente se determinó con la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{p2-p1 \text{ (g/cm}^3\text{)}}{100}$$

Donde:

p2= peso de la muestra seca con el cilindro

p1= peso del cilindro

100 = factor de cálculo para convertir a g/cm^3

pH. Se evaluó por medio de la determinación potenciométrica en suspensión suelo-líquido 1:2.5 de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Se determinó por el método de intercambio con acetato de sodio pH 8.2 según RICHARDS (modificado por Woerner, 1989) el cual consiste en el intercambio catiónico con acetato de sodio 1 M

($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), reemplazamiento del Na intercambiado por acetato de amonio 1M ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) y determinación del Na por emisión.

Conductividad eléctrica (CE). Se evaluó por determinación rápida en suspensión suelo-agua 1:5 a través de una celda de conductividad.

Fósforo (P) extraíble. Se analizó por extracción del fósforo disponible con bicarbonato de sodio pH 8.5 según OLSEN, el cual consiste en la extracción del fósforo disponible con bicarbonato de sodio 0.5 M (NaHCO_3) ajustado a pH 8.5, coloración del fósforo en solución con “molibdeno-azul”, y determinación de la intensidad de la coloración por fotolorimetría.

Nitrógeno total (Nt). Se determinó por digestión del nitrógeno total y titulación según el procedimiento semi-micro KJELDAHL, el cual consiste en la transformación del N fijado en la materia orgánica a través de ebullición con ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) en presencia de un catalizador a sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), destilación en medio alcalino, recolección de ácido bórico (H_3BO_3), y determinación del N ligado en forma amoniacal al ácido bórico a través de titulación con ácido clorhídrico (HCl).

Materia Orgánica (MO). Se determinó por combustión húmeda y titulación según Walkley and Black, el cual consiste en la digestión de la materia húmeda con ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), oxidación del carbono con dicromato de potasio 0.07 M ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y titulación del exceso de dicromato con sulfato ferroso 0.2 M ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Carbonato de Calcio (CaCO_3). Se analizó por determinación gasvolumétrica de los carbonatos totales después de su destrucción con un ácido fuerte según Scheibler/Finkener, el cual consiste en la destrucción de los carbonatos totales con ácido clorhídrico al 10% (HCl) y medición gasvolumétrica del dióxido de carbono (CO_2) producido.

Sulfatos de calcio (CaSO_4). La estimación del contenido de yeso se basa en que la solución del sulfato cálcico es menor que la de otros sulfatos generalmente menos abundantes en el suelo (Anónimo, 1982). El precipitado que se obtiene por adición de acetona al extracto acuoso del suelo es redisolto en agua, midiéndose la conductividad eléctrica de dicha disolución para determinar la concentración de sulfato de calcio presente.

Macronutrientes: Na, K, Mg y Ca. Los macronutrientes se determinaron con acetato - NH_4 pH 7.0), el cual consiste en la extracción del potasio, magnesio, calcio y sodio en acetato de amonio 1 M ($\text{CH}_3 \text{COONH}_4$) ajustado a pH 7.0 por intercambio catiónico en suelos libres de carbonatos, en suelos calizos por intercambio catiónico más por dilución de carbonatos y determinación por emisión o absorción.

Micronutrientes: Cu, Fe, Mn y Zn. Los micronutrientes se determinaron por DTPA-TEA - CaCl_2 pH 7.3 según LINDSAY/NORVELL que consiste en la extracción de fierro, manganeso, zinc y cobre en equilibrio entre muestra y quelato DTPA y determinación por absorción atómica.

2.4 Análisis estadísticos

Para los datos de densidad aparente se utilizó un análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey. Los datos obtenidos de la evaluación de las propiedades físicas y químicas no mostraron distribución normal ni homogeneidad de varianzas por lo que se utilizó la prueba de comparación de medias de Mann Whitney U con la prueba de corrección de Bonferroni, utilizando el paquete estadístico SPSS Ver. 19.

2.5 Clasificación de las variables

Considerando que en los análisis de suelos es necesario observar si las diferencias entre los tratamientos son de una magnitud tal, que corresponden a un rango diferente en la clasificación oficial de suelos, se utilizó la clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2000 y de Woerner (1989) para analizar las variables físicas, químicas y biológicas.

3. Resultados y Discusión

Los resultados de densidad aparente muestran que el sitio con 10 años de descanso tiene una densidad aparente menor que el pastizal natural ($p=0.032$), sin que existan diferencias entre éstos y los demás tratamientos (Tabla 1 y 2). Sin embargo, de acuerdo a la clasificación de suelos de Woerner (1989) (Anexo 1) todos los sitios caen dentro de la misma clasificación con una densidad aparente muy baja.

Los resultados de las variables químicas muestran que, estadísticamente, los valores de las variables son iguales en todos los tratamientos con diferente tiempo de descanso y el pastizal natural (Tabla 3 y 4). Caso contrario a la densidad aparente, algunos de los parámetros evaluados sí difirieron entre las áreas con diferentes tiempos de descanso y con el pastizal de acuerdo a la clasificación oficial de suelos. Así, el contenido de N en la profundidad de 0-10 cm se clasifica como alto en todos los tratamientos incluido el testigo (Tabla 5), mientras que en la segunda profundidad se puede observar que su contenido disminuye en el área que tiene 2 años de descanso, ya que el pastizal natural se clasifica como alto, el sitio con 1 año de descanso como medio, el sitio con 2 años como bajo y parece que tiende a recuperarse a los 5 años de descanso del terreno, sin embargo no recupera totalmente el valor del pastizal natural, ya que los sitios con 5 y 10 años se clasifican con contenido medio (Tabla 6; Anexo 7). El comportamiento del Nt en la segunda profundidad coincide con lo reportado por Wang *et al.*, (2009) quienes encontraron menor contenido de Nt en suelos agrícolas que en pastizal, concluyendo que su contenido disminuye en suelos agrícolas y su comportamiento es relacionado con la disminución en el contenido de MO.

En el caso del P es notorio el efecto de la fertilización, ya que mientras que en el pastizal natural es clasificado con un contenido bajo, en los sitios con 1 y 2 años de descanso el contenido es alto, sin embargo se observa que con el tiempo su contenido va decreciendo, más no recupera su contenido original aún a los 10 años de descanso, ya que los sitios con 5 y 10 años de descanso se clasifican con un contenido medio en la primera profundidad (Tabla 5). En la segunda profundidad el pastizal natural y los sitios

con 5 y 10 años de descanso caen dentro de la categoría bajo, mientras que los sitios con 1 y 2 años de descanso se clasifican con contenido alto (Tabla 6; Anexo 8). Estos resultados coinciden con los reportados en su investigación por Agashi *et al.*, (2010) quienes también indican que no encontraron diferencias significativas, sin embargo mencionan que detectaron que los contenidos de P extraíble son más altos en las tierras de cultivo, concluyendo que esto se debe a la fertilización continua de este elemento.

Con respecto al Mg su comportamiento en la segunda profundidad es similar al del P, ya que se clasifica con contenido bajo en el pastizal, alto en el primero, segundo y quinto año de descanso y medio en el sitio con 10 años (Tabla 6). En la primera profundidad el pastizal natural se clasifica como bajo, y como alto en el resto de los tratamientos (Tabla 5; Anexo 10).

Los contenidos de los micronutrientes Cu y Zn fueron más altos para los sitios con uno y dos años de abandono, clasificándose el Cu con contenido deficiente en el pastizal natural, y adecuado en el resto de los tratamientos, no así para el Zn que se clasifica como deficiente el pastizal, adecuados los tratamientos con 1 y 2 años de descanso, marginal el tratamiento con 5 años y adecuado el de 10 años en la primera profundidad. En la segunda profundidad tanto el pastizal natural como los primeros dos años quedan clasificados como deficiente y adecuados respectivamente, mientras que el sitio con 5 años se clasifica como deficiente y el de 10 como marginal (Tablas 5 y 6; Anexos 15 y 13) mostrando con esto que el contenido de este último micronutriente permanece mayor a los del área testigo aún después de 10 años de descanso de las áreas.

El resto de las variables evaluadas no mostraron diferencias estadísticas, ni en la clasificación, entre los diferentes tiempos de abandono ni con respecto al pastizal. Estas variables fueron clasificadas como: pH medianamente alcalino, salinidad moderada, CIC media, contenidos de MO y CaCO₃ medios, de Ca, Na y K altos, y de Mn y Fe adecuado y deficiente respectivamente, en las dos profundidades evaluadas (Tabla 5 y 6; ver Anexos).

Los resultados de pH, y concentraciones de K, Ca y Mg encontrados en este estudio coinciden con los reportados por Alejo-Santiago et al., (2012) quienes, al igual que esta investigación, no encontraron diferencia entre los suelos cultivados y no cultivados. Sin embargo, Inzunza-Ibarra y Curtis (2005) y Presley *et al.*, (2004), encontraron que en áreas agrícolas existe un incremento en los valores de pH en los primeros años, lo cual puede deberse al incremento en el contenido de sales. Concordantemente puede observarse que los valores de CE, aun cuando no difieren significativamente ni se encuentran en diferente rango de clasificación, tienden a incrementar su valor tras el cultivo en los primeros dos años de descanso de las áreas (2.4 y 2.7 dS/m) (Tabla 5).

Con respecto al contenido de MO, a diferencia de los resultados encontrados en esta investigación, Alejo-Santiago *et al.*, (2012) y Agashi *et al.*, (2010) detectaron una disminución en el contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y mencionan que en tierras secas esta disminución se debe a la frecuencia de laboreo del suelo ya que estas actividades favorecen la ventilación y exposición de la materia orgánica al ataque de los microorganismos implicando además un descenso en el contenido nutrimental y pérdida de estructura del suelo. A su vez, Bowman *et al.*, (1990) mencionan que la pérdida de

MO durante los primeros años de agricultura convencional es más alta que en los años subsiguientes y que, durante los primeros 3 años de cultivo, se pierde alrededor del 80% del C más lábil.

La CIC al igual que el contenido de MO no solo no mostró diferencias estadísticas sino que sus valores cayeron dentro de un mismo rango de clasificación (Tabla 5 y 6; Anexos 4 y 5). Dicho comportamiento es reportado por Agashi *et al.*, (2010) quienes mencionan que los comportamientos de estas variables son relacionados y concluyen que los cambios de uso de suelo de pastizales a agricultura reducen la CIC. Estos mismos resultados son reportados por Sacci y De Pauli, (2002) al comparar suelos cultivados contra suelos prístinos.

En cuanto al contenido de CaCO₃, Agashi *et al.*, (2010) encontraron un incremento en los suelos agrícolas abandonados con respecto a un pastizal, a diferencia de lo detectado en la presente investigación.

Tabla 1. Valores promedio (n=5) ± desviación estándar de densidad aparente.

Tratamiento	Media	Desviación estándar
Pastizal natural	1.20	.05
3 años	1.15	.09
7 años	1.07	.10
10 años	1.05	.07

Tabla 2. Clasificación de los valores de densidad aparente en grupos de los subconjunto homogéneos basada en el grado de parecido existente entre sus medias de acuerdo a HSD de Tukey^a.

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
10 años	5	1.0500	
7 años	5	1.0680	1.0680
3 años	5	1.1540	1.1540
Pastizal	5		1.2040
Sig.		.199	.064

^a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

Tabla 3: Valores de P de Mann Whitney U con la prueba de corrección en la profundidad de 0-10 cm.

VARIABLE	Comparación de medias													
	1 año				2 años				5 años				10 años	
	2 años	5 años	10 años	Pastizal natural	5 años	10 años	Pastizal natural							
pH	0.050	0.050	0.827	0.658	0.077	0.050	0.050	0.050	0.077	0.077	0.050	0.077	0.500	
CE	0.827	0.127	0.050	0.050	0.275	0.050	0.050	0.050	0.127	0.127	0.050	0.050	0.184	
MO	0.275	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.275	0.275	0.050	0.827	0.275	
CaCO ₃	0.050	0.050	0.376	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.376	0.050	
CaCO ₄	0.827	0.050	0.827	0.050	0.050	0.827	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.275	0.050	
Ca	0.050	0.827	0.050	0.050	0.050	0.513	0.513	0.513	0.050	0.050	0.513	0.050	0.827	
K	0.275	0.275	0.275	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.513	0.513	0.050	0.050	0.050	
Mg	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	
Na	0.513	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.827	0.827	0.050	0.827	0.513	
Cu	0.050	0.050	0.050	0.050	0.513	0.658	0.127	0.127	0.827	0.827	0.184	0.184	0.050	
Mn	0.513	0.827	0.127	0.050	0.275	0.513	0.050	0.050	0.827	0.827	0.050	0.050	0.050	
Fe	0.127	0.513	0.827	0.827	0.827	0.127	0.127	0.127	0.275	0.275	0.275	0.275	0.827	
Zn	0.275	0.050	0.050	0.046	0.050	0.050	0.046	0.046	0.127	0.127	0.072	0.072	0.046	
CIC	0.275	0.050	0.050	0.127	0.127	0.275	0.127	0.127	0.513	0.513	0.513	0.513	0.827	
N	0.043	0.046	0.043	0.043	0.046	0.043	0.043	0.043	0.653	0.653	0.346	0.346	0.068	
P	0.275	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.513	0.513	0.127	0.127	0.050	

p = 0.05/10=0.005. Si los valores de p son menores que 0.005, la comparación de medias de los tratamientos se declara diferente.

Tabla 4: Valores de P de Mann Whitney U con la prueba de corrección en la profundidad de 10-30 cm.

Comparación de medias

VARIABLE	1 año			2 años			5 años			10 años		
	2 años	5 años	10 años	Pastizal natural	5 años	10 años	Pastizal natural	5 años	10 años	Pastizal natural	5 años	10 años
pH	0.121	0.814	0.796	0.268	0.046	0.046	0.050	0.239	0.121	0.268	0.121	0.268
CE	0.376	0.275	0.050	0.050	0.127	0.050	0.050	0.184	0.050	0.050	0.050	0.050
MO	0.127	0.827	0.127	0.513	0.127	0.050	0.827	0.513	0.513	0.827	0.513	0.275
CaCO ₃	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.275	0.050	0.275	0.050
CaCO ₄	0.827	0.127	0.513	0.050	0.184	0.275	0.050	0.050	0.275	0.050	0.275	0.050
Ca	0.513	0.827	0.513	0.513	0.513	0.827	0.513	0.513	0.513	0.513	0.513	0.513
K	0.050	0.050	0.275	0.050	0.050	0.275	0.050	0.050	0.513	0.050	0.513	0.050
Mg	0.050	0.127	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.827	0.050	0.050	0.050	0.050
Na	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.827	0.050	0.827	0.050
Cu	0.275	0.275	0.376	0.050	0.827	0.827	0.050	0.827	0.077	0.050	0.077	0.050
Mn	0.275	0.827	1.000	0.050	0.513	0.127	0.050	0.827	0.050	0.050	0.050	0.050
Fe	0.513	0.827	0.658	0.827	0.513	0.513	0.827	0.827	0.827	0.827	0.827	0.513
Zn	0.658	0.050	0.127	0.050	0.050	0.127	0.050	0.827	0.513	0.827	0.513	0.050
CIC	0.513	0.513	0.275	0.513	0.275	0.513	0.513	0.827	0.513	0.827	0.513	0.275
N	0.077	0.653	0.105	0.077	0.046	0.046	0.050	0.043	0.046	0.050	0.046	0.346
P	0.513	0.046	0.127	0.050	0.046	0.046	0.050	0.507	0.046	0.050	0.046	0.050

p = 0.05/10=0.005. Si los valores de p son menores que 0.005, la comparación de medias de los tratamientos se declara diferente.

Tabla 5. Clasificación de suelos (tonos) de las variables analizadas y valores promedio (n=6), \pm desviación estándar de la profundidad de 0-10 cm.

Variable	Unidad	Pastizal Natural	1 año	2 años	5 años	10 años
pH		7.8 \pm 0.03	7.9 \pm 0.03	7.8 \pm 0.02	7.8 \pm 0.02	7.8 \pm 0.04
C.E.	dS/m	2.1 \pm 0.04	2.4 \pm 0.10	2.7 \pm 0.73	2.3 \pm 0.06	2.2 \pm 0.05
M.O.	%	3.1 \pm 0.20	2.2 \pm 0.16	2.3 \pm 0.10	3.1 \pm 0.17	3.3 \pm 0.30
CIC	cmol/Kg	18.4 \pm 3.37	14.7 \pm 3.76	15.9 \pm 2.19	18.6 \pm 3.49	19.8 \pm 3.28
Na	cmol/Kg	2.0 \pm 0.76	6.5 \pm 0.92	8.7 \pm 7.44	3.8 \pm 3.40	1.9 \pm 1.45
CaCO ₃	%	4.5 \pm 0.05	8.9 \pm 0.05	3.0 \pm 0.03	14.3 \pm 0.12	13.5 \pm 0.23
CaSO ₄	%	14.5 \pm 0.18	13.4 \pm 0.28	13.4 \pm 0.15	47.1 \pm 0.20	44.3 \pm 0.41
N	%	0.18 \pm 0.004	0.16 \pm 0.009	0.13 \pm 0.01	0.20 \pm 0.03	0.20 \pm 0.01
P	ppm	4.5 \pm 0.53	28.1 \pm 8.47	22.7 \pm 6.89	7.2 \pm 3.29	8.4 \pm 0.86
Ca	cmol/Kg	2489.3 \pm 57.4	2596.7 \pm 63.6	2523.9 \pm 23.3	2588.5 \pm 109	2519.0 \pm 73.7
K	cmol/Kg	3.5 \pm 0.22	9.6 \pm 3.3	11.6 \pm 3.2	9.2 \pm 3.8	6.2 \pm 1.9
Mg	cmol/Kg	0.90 \pm 0.23	15.9 \pm .68	27.2 \pm 20.02	7.4 \pm 1.99	4.1 \pm 3.18
Cu	mg/l	0.24 \pm 0.19	0.70 \pm 0.12	0.41 \pm 0.12	0.37 \pm 0.11	0.36 \pm 0.02
Zn	mg/l	0.24 \pm 0.03	2.38 \pm 0.21	2.17 \pm 0.35	0.72 \pm 0.38	1.27 \pm 0.34
Fe	mg/l	1.6 \pm 0.35	1.5 \pm 0.14	1.2 \pm 0.27	1.4 \pm 0.41	1.7 \pm 0.44
Mn	mg/l	1.8 \pm 0.24	3.9 \pm 0.50	3.5 \pm 1.31	4.2 \pm 1.03	4.7 \pm 0.55

Tonos iguales son para sitios que se encuentran dentro de la misma categoría para cada

variable evaluada. Los valores van del más bajo al más alto en el siguiente orden:



Tabla 6. Clasificación de suelos (tonos) de las variables analizadas y valores promedio (n=6), \pm desviación estándar de la profundidad de 10-30 cm.

Variable	Unidad	Pastizal Natural	1 año	2 años	5 años	10 años
pH		7.9 \pm 0.04	8.0 \pm 0.06	8.0 \pm 0.05	7.9 \pm 0.03	7.8 \pm 0.01
C.E.	dS/m	2.1 \pm 0.04	2.3 \pm 0.20	2.4 \pm 0.07	2.2 \pm 0.04	2.2 \pm 0.02
M.O.	%	1.8 \pm 0.57	1.8 \pm 0.17	1.6 \pm 0.11	2.1 \pm 0.56	2.4 \pm 0.53
CIC	cmol/Kg	14.5 \pm 4.92	13.2 \pm 5.58	14.4 \pm 2.81	15.6 \pm 1.45	17.7 \pm 5.75
Na	cmol/Kg	2.0 \pm 0.46	4.8 \pm 1.26	7.2 \pm 1.87	3.0 \pm 1.08	1.1 \pm 0.38
CaCO ₃	%	4.4 \pm 0.21	7.9 \pm 1.40	2.9 \pm 0.15	4.6 \pm 0.05	9.4 \pm 0.17
CaSO ₄	%	14.7 \pm 0.07	14.0 \pm 0.12	14.1 \pm 0.19	14.4 \pm 0.14	13.8 \pm 0.24
N	%	0.15 \pm 0.007	0.13 \pm 0.01	0.09 \pm 0.01	0.12 \pm 0.006	0.14 \pm 0.004
P	ppm	2.4 \pm 0.47	13.5 \pm 7.85	14.1 \pm 0.35	5.1 \pm 0.50	5.5 \pm 1.30
Ca	cmol/Kg	2507.2 \pm 55.0	2563.6 \pm 203	2559.9 \pm 93.0	2543.6 \pm 152	2513.3 \pm 67.4
K	cmol/Kg	1.8 \pm 0.88	6.2 \pm 3.10	6.9 \pm 1.64	6.1 \pm 6.0	4.8 \pm 1.8
Mg	cmol/Kg	0.65 \pm 0.46	11.8 \pm 1.52	22.5 \pm 4.91	8.7 \pm 4.88	3.2 \pm 1.36
Cu	mg/l	0.13 \pm 0.02	0.37 \pm 0.09	0.30 \pm 0.08	0.25 \pm 0.09	0.27 \pm 0.11
Zn	mg/l	0.06 \pm 0.02	1.4 \pm 0.33	1.4 \pm 0.13	0.37 \pm 0.27	0.71 \pm 0.58
Fe	mg/l	0.93 \pm 0.16	0.98 \pm 0.20	0.91 \pm 0.05	0.89 \pm 0.38	1.0 \pm 0.44
Mn	mg/l	1.1 \pm 0.14	2.0 \pm 0.46	1.8 \pm 0.28	2.2 \pm 0.55	2.2 \pm 0.19

Tonos iguales son para sitios que se encuentran dentro de la misma categoría para cada

variable evaluada. Los valores van del más bajo al más alto en el siguiente orden:



4. Conclusiones

Los resultados estadísticos muestran que, tras un año de cultivo intensivo de papa, no hubo cambios en las propiedades químicas del suelo entre las áreas con diferente tiempo de abandono, ni con el pastizal natural, excepto para la densidad aparente donde el sitio con 10 años de descanso presentó una densidad aparente menor que el pastizal natural. Sin embargo, es importante considerar que para fines de manejo de un suelo, la clasificación oficial de suelos puede ser más relevante que las diferencias estadísticas. Los resultados de este estudio muestran que, de acuerdo a la clasificación oficial de suelos de México, la densidad aparente del suelo fue igual para todos los sitios estudiados, mientras que el Nt, P extraíble, Mg, Cu y Zn tuvieron rangos más altos en los primeros dos años de descanso que el pastizal natural, y empiezan a decrecer a partir del quinto año de descanso acercándose sus valores al del sitio testigo.

5. Literatura Citada

Aghasi, B., Jalalian, A. and N. Honarjo. 2010. The Comparison of Some Soil Quality Indexes in Different Land uses of Ghareh Aghaj Watershed of Semirom, Isfahan, Iran. *International Journal of Environmental and Earth Sciences* 1:2.

Alejo-Santiago, G., Salazar-Jara, F. y García-Paredes, J., Arrieta-Ramos, B., Jiménez-Meza, V. y A. Sánchez-Monteón. 2012. Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15 (2012): 323 – 328.

Arriaga, L., Espinoza J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 609 p.

Bowman, R., Vigil, M., Nielsen, D. and R. Anderson. 1999. Soil organic matter changes in intensively cropped dry land systems. *Soil Science Society of America*, 63,186-191.

Buckley, D.H. and T.M. Schmidt. 2001. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology* 42, 11-21.

Estrada-Castillón, E., Scott-Morales, L., Villarreal-Quintanilla, J., Jurado-Ybarra, E., Coterá-Corre, M., Cantú-Ayala, C. y J. García-Pérez. 2010. Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81, 401- 416.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. Tercera edición.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1981. Síntesis geográfica de Nuevo León. México, D.F. 170 p.

Inzunza-Ibarra, M. A., Curtis and M. H. 2005. Variation of soil chemical properties in irrigated and non-irrigated areas of the Laguna Region of Mexico. *TERRA Latinoamericana*, 23 (4), 429-436. Universidad Autónoma Chapingo, México.

McCready, B., Mehlman, D., Kwan, D. and Abel, B. 2005. The Nature Conservancy’s Prairie Wings Project: A Conservation Strategy for the Grassland Birds of the Western Great Plains. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191, 1158-1161.

Michelena, R., Morrás, H. and C. Iurtria. 2008. Degradación física por agricultura continua de suelos franco-limosos de la provincia de Córdoba. INTA - CIRN; Instituto de Suelos. Argentina.

Norma Oficial Mexicana *NOM-021-SEMARNAT-2001*. Protección ambiental –especies nativas de México de flora y fauna silvestres- categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo, México, D.F.

Presley, D.R., Ransom, M.D., Kluitenberg, G.J., & P.R. Finnell. 2004. Effects of thirty years of irrigation on the genesis and morphology of two semiarid soils in Kansas. Soil Science Society of America, 68, 1916–1926.

Pronatura Noreste, A.C. The Nature Conservancy (compiladores). 2007. Plan de conservación de los pastizales del Altiplano Mexicano 2006 – 2010: Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas. Monterrey, N.L., México. 171.

Sacchi, G. and C. De Pauli. 2002. Evaluación de los cambios en las propiedades físicas y químicas de un argiustol údico por procesos de degradación. *Agrociencia*, VI (2), 37-46.

Schoenholtz, S.H., Van, H. and J.A. Burgerc. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138, 335-356.

Y. Wang, X. Zhang, and C. Huang. 2009. “Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China,” *Geoderma*, vol. 150, pp. 141-149.

6. Anexos

Anexo 1. Valoración de densidad aparente (Da) de acuerdo a Woerner (1989).

Da en g/cm ³	Valoración
< 1.20	Muy baja
< 1.40	Baja
1.40 – 1.75	Mediana
> 1.75	Alta
> 1.95	Muy alta

Anexo 2. Valoración de pH de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

ph	Valoración según Woerner (1989)	ph	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
> 8.2	Muy alcalino	> 8.5	Fuertemente alcalino
7.2 – 8.2	Alcalino	7.4 – 8.5	Medianamente alcalino
6.5 – 7.2	Neutro	6.6 – 7.3	Neutro
5.5 – 6.5	Poco ácido	5.1 – 6.5	Moderadamente ácido
4.5 – 5.5	Ácido	< 5.0	Fuertemente ácido
< 4.5	Muy ácido		

Anexo 3. Valoración de conductividad eléctrica (CE) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Valoración según Woerner (1989)	CE (dS cm^{-1})	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 2000	Muy escasa	< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad
2000 – 4000	Escasa	1.1 – 2.0	Muy ligeramente salino
4000 – 8000	Moderada	2.1 – 4.0	Moderadamente salino
8000 – 16000	Alta	4.1 – 8.0	Suelo salino
> 16000	Extrema	8.1 – 16.0	Fuertemente salino
		> 16.0	Muy fuertemente salino

Anexo 4. Valoración de capacidad de intercambio catiónico (CIC) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

CIC (meq/kg) de suelo	Valoración según Woerner (1989)	CIC (cmol kg^{-1})	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 30	Muy baja	> 40	Muy alta
30 – 100	Baja	25 – 40	Alata
100 – 250	Mediana	15 – 25	Media
250 – 500	Alta	5 – 15	Baja
> 500	Muy alta	< 5	Muy baja

Anexo 5. Valoración de materia orgánica (MO) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de carbono orgánico (%) en suelos francos	Valoración según Woerner (1989)	MO (%) en suelos no volcánicos	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 0.50	Muy escaso	< 0.5	Muy bajo
0.50 – 0.75	Escaso	0.6 – 1.5	Bajo
0.75 – 1.50	Mediano	1.6 – 3.5	Medio
1.50 – 2.50	Alto	3.6 – 6.0	Alto
> 2.50	Muy alto	> 6.0	Muy alto

Anexo 6. Valoración de carbonatos (CaCO₃) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

CaCO₃ (%)	Valoración según Woerner (1989)	CaCO₃ (%)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 0.5	Muy escaso	< 0.5	Muy bajo
0.5 – 2.0	Escaso	0.5 – 2.0	Bajo
2.0 – 10.0	Frecuente	2.1 – 15.0	Mediano
10.0– 25.0	Abundante	16.0 – 40.0	Alto
25.0 – 50.0	Muy abundante	> 40.0	Muy alto
> 50.0	Extremo		

Anexo 7. Valoración de nitrógeno (Nt) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de Nt (%) en suelos francos	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de nitrógeno total (%) en suelos	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 0.050	Deficiente	< 0.05	Muy bajo
0.050 – 0.075	Bajo	0.05 – 0.10	Bajo
0.075 – 0.150	Adecuado	0.10 – 0.15	Medio
0.150 – 0.250	Alto	0.15 – 0.25	Alto
> 0.250	Muy alto	> 0.25	Muy alto

Anexo 8. Valoración de fósforo disponible (P) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de P (ppm)	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de P (mg kg⁻¹)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 5	Deficiente	< 5.5	Bajo
5 – 10	Bajo	5.5 - 11	Medio
10 – 20	Adecuado	> 11	Alto
20 - 40	Alto		
> 140	Muy alto		

Anexo 9. Valoración de potasio disponible (K) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de K disponible (ppm)	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de K intercambiable (cmol kg ⁻¹)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 90	Deficiente	< 0.2	Muy Baja
90 – 130	Bajo	0.2 – 0.3	Baja
130 – 175	Adecuado	0.3 – 0.6	Media
175 - 300	Alto	> 0.6	Alta
> 300	Muy alto		

Anexo 10. Valoración de magnesio disponible (Mg) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de Mg disponible (ppm)	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de Mg intercambiable (cmol kg ⁻¹)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 50	Bajo	< 0.5	Muy Baja
50 – 150	Adecuado	0.5 – 1.3	Baja
> 150	Alto	1.3 – 3.0	Media
		> 3.0	Alta

Anexo 11. Valoración de calcio disponible (Ca) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de Ca disponible (ppm)	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de Ca intercambiable (cmol kg ⁻¹)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 250	Deficiente	< 2	Deficiente
250 – 750	Bajo	2 – 5	Bajo
750 - 2000	Adecuado	5 – 10	Adecuado
> 150	Alto	> 10	Alto

Anexo 12. Valoración de hierro disponible (Fe) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de Fe disponible (ppm)	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de Fe extraíble (mg kg⁻¹)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 2.0	Bajo	< 2.5	Deficiente
2.0 – 4.0	Marginal	2.5 – 4.5	Marginal
> 4.0	Adecuado	> 4.5	Adecuado

Anexo 13. Valoración de zinc disponible (Zn) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de Zn disponible (ppm)	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de Zn extraíble (mg kg⁻¹)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 1.0	Bajo	< 0.5	Deficiente
1.0 – 1.5	Marginal	0.5 – 1.0	Marginal
> 1.5	Adecuado	> 1.0	Adecuado

Anexo 14. Valoración de manganeso disponible (Mn) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de Mn disponible (ppm)	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de Mn extraíble (mg kg⁻¹)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 1.8	Bajo	< 1.0	Deficiente
> 1.8	Adecuado	> 1.0	Adecuado

Anexo 15. Valoración de cobre disponible (Cu) de acuerdo a Woerner (1989) y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Contenido de Cu disponible (ppm)	Valoración según Woerner (1989)	Contenido de Cu extraíble (mg kg⁻¹)	Valoración según la NOM-021-SEMARNAT-2000
< 0.5	Bajo	< 0.2	Deficiente
> 0.5	Adecuado	> 0.2	Adecuado

Anexo 16. Valoración de yeso (CaSO₄) de acuerdo a la FAO (2006).

Contenido de CaSO₄ (%)	Clase	Significado
0	N	No yesoso
0 – 5	SL	Ligeramente yesoso
5 – 15	MO	Moderadamente yesoso
15 – 60	ST	Fuertemente yesoso
> 60	EX	Extremadamente yesoso

Changes in the Chemical Properties of a Soil Impacted by Intensive Agriculture, North-eastern Mexico

F. Silva-Arredondo, M. Pando Moreno*, H. González Rodríguez and L. Scott Morales

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional No. 85, Km 145, Linares, Nuevo Leon 67700, Mexico

Abstract

The present study was carried out in a semi-arid area within the Chihuahuan Desert in the Northern Mexican Plateau. The objective of the study was to evaluate the long term changes in the soil chemical properties after one cycle of potato cultivation with intensive application of agrochemicals. Sampling sites were established in areas that had 1, 2, 5 and 10 years of abandonment after potato cultivation and an area of native grassland was also considered as control. Potato cultivation is carried out by a company that rent the land to the peasants, so cultivation is done in the same way all over this area. At each site, the following variables were evaluated at 0-10 and 10-30 cm soil depths: pH, CEC, EC, SOM, CaCO₃, CaSO₄, Na, K, Mg, P, total N, Ca, Cu, Fe, Mn and Zn. Results showed that even though sites were statistically equal for all the evaluated variables, there were some variables (total N, extractable P, Mg, Cu and Zn) that fell in different ranges according to the Mexican NOM-021-SEMARNAT- 2000 of soil classification.

1. Introduction

Agricultural practices and soil management practices are the more significant anthropogenic activities that disturb the physical and chemical characteristics of soil (Buckley and Schmidt, 2001); which by being inadequate, lead to soil degradation (Michelena *et al.*, 2008). Lately, and due to the importance of soil as an essential

component of the ecosystem's health, interest has increased in determining the consequences of agricultural practices on soil properties (Schoenholtz *et al.*, 2000). Several researches have been focused on the identification of indicators to estimate the current state and trends in the quality of soils through the evaluation of their physical and chemical properties, looking for sustainable management strategies (Sacchi and De Pauli, 2002; Inzunza-Ibarra and Curtis, 2005; Alejo-Santiago *et al.*, 2012).

The Northeast of Mexico includes a large extension of arid and semi-arid areas that have been particularly affected by soil degradation caused by the transformation of natural ecosystems into irrigated agricultural lands (McCready *et al.*, 2005). A clear example of this problem occurs in the grasslands of the southern region of the Chihuahua Desert, which exhibits a great biological diversity so that its preservation is of imperative importance (Arriaga *et al.*, 2000). According to studies conducted in the area (Pronatura Noreste [PNE] and The Nature Conservancy [TNC], 2007; Estrada-Castillon *et al.*, 2010) such diversity is strongly threatened mainly by the conversion of the gypsophila and halophile grasslands into crop lands, particularly dedicated to grow potatoes. In the area, this crop is cultivated using a high amount of fertilizers and other agro-chemicals and, even so, peasants claim that potato yields notoriously decreased after one cycle of cultivation. The land is abandoned after just one year of use and new grasslands are cleared. Hence, in order to preserve these grassland ecosystems there is a need to establish new management strategies for sustainable agricultural practices and an unavoidable requisite for these strategies to be successful is to know the dynamics of the properties of soils subjected to this type of agricultural use. Thus, this research was conducted to compare the chemical characteristics of the soil in areas with different abandonment times and an adjacent area of natural grassland, looking for an explanation for the abandonment of the areas and setting the basis for management practices that encourage the continued use of already cleared areas. Our hypothesis is that after potato cultivation, the land is depleted of some of the essential nutrients or its chemical characteristics change in a way that prevents the proper development of the crop.

2. Materials and Methods

2.1. Study area

The study area is located in the Southern region of the Chihuahuan Desert, in North-eastern Mexico (Figure 1) ($24^{\circ} 40' 55''$ N, $100^{\circ} 14' 20''$ W), at an elevation between 1900 and 2000 m. In the area co-exist animal species of great conservation priority, such as the prairie dog (*Cynomys mexicanus*), the burrowing owl (*Athene cunicularia*), the mountain plover (*Charadrius montanus*), the golden eagle (*Aquila chrysaetos*), as well as endemic plant species such as *Frankenia gypsophila* and *Bouteloua chasei* among others. The predominant soil types in the area are slightly alkaline such as Solonchak with a petrogipsic phase and haplic xerosols (INEGI, 1981). The climate of the region is dry, mild, or arid, with an average annual rainfall of 333.8 mm and an average annual temperature of 22°C (Garcia, 1981). For the last 40 years, extensive areas have been cleared in the region to grow potatoes. Potatoes are cultivated by a private company that leases the land all over the area.



Figure 1: Location of the study area

2.2. *Sampling sites*

Sampling sites were selected with 1, 2, 5 and 10 resting years after potato cultivation and, as a reference, an area of natural grassland. Three 1-ha sites were selected for each resting period and, in each plot, 5 subsamples of soil were obtained at two depths (0-10 cm and 10-30 cm). The 5 subsamples from each plot were mixed into one homogeneous mixture, given a total of 30 samples to be analyzed for the different agricultural areas as well as the reference site. Sampling was carried out during February 2011. The soil texture for all evaluated sites was fine silt loam.

2.3. *Determination of soil chemical properties*

Soil samples were air-dried and passed through a 2 mm sieve and determined by the methods described in Table 1.

2.4. *Statistical analysis*

Since data did not show the assumptions of normal distribution nor equal variances, data were analyzed using the nonparametric Kruskal-Wallis test (Steel and Torrie, 1980). To detect significant differences between resting years at each soil depth profile for each determined soil variable. The Mann-Whitney U non parametric test with the Bonferroni correction method was employed (Wackerly *et al.*, 2002) at a $p=0.05$. All statistical analyses were carried out by using the statistical package SPSS version 13 for Windows.

2.5. *Classification of variables*

Many times, statistical differences in soil variables do not mean differences in the quality of the soil or the way the soil needs to be managed. When comparing two soils or changes of one soil overtime it is important to consider the classification of soils as a tool of analysis to detect if the values of the variables of interest fall in a different category. To do this, we used the official classification of soils of the Official Mexican standard NOM-021-SEMARNAT-2000.

Table 1. Evaluated properties and method used.

Soil Chemical Property	Method	Unit
pH	Measured in 1:2.5 (soil:water) extracts according to NOM-021-RECNAT-2000.	
Electrical conductivity (EC)	Measured in 1:2.5 (soil:water) extracts according to NOM-021-RECNAT-2000.	dS m ⁻¹
Soil organic matter (SOM)	Wet combustion and titration according to Walkley and Black.	%
Cation-exchange capacity (CEC)	Sodium acetate method.	cmol Kg ⁻¹
Sodium (Na)	Acetate -NH ₄ pH 7.0.	cmol Kg ⁻¹
Calcium carbonate (CaCO₃)	Gas-volumetric determination of the total carbonate after its destruction with a strong acid according to Scheibler/Finkener	%
Calcium sulfate (CaSO₄)	Acetate -NH ₄ pH 7.0.	%
Total nitrogen (TN)	Digestion of total nitrogen and titration according to the semi-micro procedure KJELDAHL.	%
Extractable phosphorus (EP)	Extraction of available phosphorus with sodium bicarbonate as Olsen P	mg L ⁻¹
Calcium (Ca)	Acetate -NH ₄ pH 7.0.	cmol Kg ⁻¹
Potassium (K)	Acetate -NH ₄ pH 7.0.	cmol Kg ⁻¹
Magnesium (Mg)	Acetate -NH ₄ pH 7.0.	cmol Kg ⁻¹
Copper (Cu)	DTPA-TEA -CaCl ₂ pH 7.3 according to LINDSAY/NORVELL.	mg L ⁻¹
Zinc (Zn)	DTPA-TEA -CaCl ₂ pH 7.3 according to LINDSAY/NORVELL.	mg L ⁻¹
Iron (Fe)	DTPA-TEA -CaCl ₂ pH 7.3 according to LINDSAY/NORVELL.	mg L ⁻¹
Manganese (Mn)	DTPA-TEA -CaCl ₂ pH 7.3 according to LINDSAY/NORVELL.	mg L ⁻¹

Table 2: P values of the Mann Whitney U test with the Bonferroni correction method for soil depth profile 0-10 cm

Soil chem. property	Mean Comparison									
	1 year			2 years			5 years		10 years	
	vs	vs	vs	vs	vs	vs	vs	vs	vs	
	2 years	5 years	10 years	Grassland	5 years	10 years	Grassland	10 years	Grassland	Grassland
pH	0.050	0.050	0.827	0.658	0.077	0.050	0.050	0.077	0.077	0.500
EC	0.827	0.127	0.050	0.050	0.275	0.050	0.050	0.127	0.050	0.184
SOM	0.275	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.275	0.827	0.275
CaCO ₃	0.050	0.050	0.376	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.376	0.050
CaCO ₄	0.827	0.050	0.827	0.050	0.050	0.827	0.050	0.050	0.275	0.050
Ca	0.050	0.827	0.050	0.050	0.050	0.513	0.513	0.050	0.050	0.827
K	0.275	0.275	0.275	0.050	0.050	0.050	0.050	0.513	0.050	0.050
Mg	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Na	0.513	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.827	0.827	0.513
Cu	0.050	0.050	0.050	0.050	0.513	0.658	0.127	0.827	0.184	0.050
Mn	0.513	0.827	0.127	0.050	0.275	0.513	0.050	0.827	0.050	0.050
Fe	0.127	0.513	0.827	0.827	0.827	0.127	0.127	0.275	0.275	0.827
Zn	0.275	0.050	0.050	0.046	0.050	0.050	0.046	0.127	0.072	0.046
CEC	0.275	0.050	0.050	0.127	0.127	0.275	0.127	0.513	0.513	0.827
TN	0.043	0.046	0.043	0.043	0.046	0.043	0.043	0.653	0.346	0.068
EP	0.275	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.513	0.127	0.050

$p=0.05/10=0.005$. If p values are ≤ 0.005 , the mean treatment comparison is declared different.

3. Results and Discussion

Values for all the analyzed variables were equal between different resting time sites and equal to the native grassland areas, both at 0-10 and at 10-30 depth (Tables 2 and 3). However, according to the Official Mexican Classification of Soils, some of the evaluated soil chemical properties fell in different categories in sites with different resting times and in the grassland site. Thus, at the 10-30 depth, total nitrogen content was classified as high in the grassland site, moderate in the site with one year of rest after cultivation, low in the site with two years of rest, and then increases to moderate for the sites with five and ten years of resting (Table 5). This pattern coincides with the results documented by Wang et al. (2009) who analyzed total nitrogen in the soil of several land uses in China and reported lower content of total nitrogen in agricultural soils than in grasslands, and concluded that it is related to the decrease in organic matter.

Other variable that showed differences in the classification was phosphorous. The effect of fertilization was notorious in the pattern of this element since, at the top soil layer, the native grassland had a low content of phosphorous while sites with 1 and 2 years of rest after cropping showed a high content. The content of phosphorous started decreasing

after the second year of resting, however, even after 5 and 10 resting years, the content was still classified as moderate (Table 4). At the lower soil layer (10-30 cm), the native grassland and sites with 5 and 10 resting years fell into the same category, classified as low content of phosphorous, different to sites with 1 and 2 resting years which were classified as having a high content of this element (Table 5). These results are similar to those reported by Agashi et al. (2010) who compared grasslands with agriculture and abandoned lands in an arid area in Iran and detected higher content of extractable phosphorous in agricultural lands due to the continuous fertilization, even though the differences were not statistically significant.

Pattern of magnesium at the second layer was similar to that of phosphorous with low content in the grassland, high in the 1, 2 and 5 year sites, and moderate at the 10 resting year site (Table 5). At the top layer, content of magnesium was classified as high for all the resting sites and low in the grassland (Table 4).

Content of Cu and Zn micronutrients were high for the sites with 1 and 2 years of rest, deficient for the grassland site and adequate for the rest of the treatments in the 0-10 cm depth. Zinc had a slightly different response being deficient in the grassland and adequate for the sites with 1 and 2 years at both depths. The 5 year treatment showed a marginal content of zinc at the top soil layer and deficient at the second layer while sites with 10 years of rest had an adequate content at the 0-10 layer and marginal in the second layer (Tables 4 and 5). These tables illustrate how content of zinc is in a higher category after 10 years of application of fertilizers than in the control.

The other variables did not show differences either statistically or in the classification between the different resting times nor with the native grasslands. These variables were classified as follows: pH moderately alkaline, moderate salinity, medium CEC, medium content of organic matter and calcium carbonate, high content of Ca, Na and K, adequate Mg and deficient in Fe (Tables 4 and 5).

Results found in this study are somehow similar to those reported by Alejo-Santiago et al. (2012) who also found no differences in chemical properties between cultivated and natural vegetation. Conversely, Inzunza-Ibarra and Curtis (2005) as well as Presley et al. (2004) reported an increase in pH values in agricultural lands and concluded that this might be due to an increase in the amount of salts from fertilizers. In present study, values of electrical conductivity slightly increased during the first two years after cultivation of soil from 2.1 dS m^{-1} in the grassland to 2.4 y 2.7 dS m^{-1} in the first and second year of resting, respectively (Table 4), however these values were statistically equal and fell into the same category in the classification.

On the other hand, contrary to the expected results, content of organic matter did not change after cultivation as has been reported by several authors. For example, Agashi et al. (2010) and Alejo-Santiago et al. (2012) reported a significant decrease in organic matter content in agricultural lands as a consequence of continuous tillage. In addition, Bowman et al. (1990) stated that loss of organic matter during the first years of conventional agriculture is higher than in the subsequent years and about 80% of labile C is lost during the first three years of cultivation.

When comparing soil properties of agricultural lands and native vegetation, some authors reported a decrease in the CEC in agricultural areas (Sacci and De Pauli, 2002 and Agashi et al., 2010), differing to our results where no differences were detected in the CEC of evaluated areas.

Table 3: P values of the Mann Whitney U test with the Bonferroni correction method for soil depth profile 10-30 cm

Soil Chemical Property	Mean Comparison									
	1 year			2 years			5 years		10 years	
	vs	vs	vs	vs	vs	vs	vs	vs	vs	
	2 years	5 years	10 years	Grass-land	5 years	10 years	Grass-land	10 years	Grassland	Grass-land
pH	0.121	0.814	0.796	0.268	0.046	0.046	0.050	0.239	0.121	0.268
CE	0.376	0.275	0.050	0.050	0.127	0.050	0.050	0.184	0.050	0.050
SOM	0.127	0.827	0.127	0.513	0.127	0.050	0.827	0.513	0.513	0.275
CaCO ₃	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.275	0.050
CaCO ₄	0.827	0.127	0.513	0.050	0.184	0.275	0.050	0.050	0.275	0.050
Ca	0.513	0.827	0.513	0.513	0.513	0.827	0.513	0.513	0.513	0.513
K	0.050	0.050	0.275	0.050	0.050	0.275	0.050	0.050	0.513	0.050
Mg	0.050	0.127	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.827	0.050	0.050
Na	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.827	0.050
Cu	0.275	0.275	0.376	0.050	0.827	0.827	0.050	0.827	0.077	0.050
Mn	0.275	0.827	1.000	0.050	0.513	0.127	0.050	0.827	0.050	0.050
Fe	0.513	0.827	0.658	0.827	0.513	0.513	0.827	0.827	0.827	0.513
Zn	0.658	0.050	0.127	0.050	0.050	0.127	0.050	0.827	0.513	0.050
CEC	0.513	0.513	0.275	0.513	0.275	0.513	0.513	0.827	0.513	0.275
TN	0.077	0.653	0.105	0.077	0.046	0.046	0.050	0.043	0.046	0.346
EP	0.513	0.046	0.127	0.050	0.046	0.050	0.050	0.507	0.046	0.050

$p=0.05/10=0.005$. If p values are less than 0.005, the mean treatment comparison is declared different

Table 4: Soil classification (letters) of the variables analyzed and average values (n=6), \pm standard deviation for the soil depth 0-10 cm

Soil Chemical Property	Unit	Grassland	1 year	2 years	5 years	10 years
pH		7.8 \pm 0.03 ^d	7.9 \pm 0.03 ^d	7.8 \pm 0.02 ^d	7.8 \pm 0.02 ^d	7.8 \pm 0.04 ^d
EC	dSm ⁻¹	2.1 \pm 0.04 ^c	2.4 \pm 0.10 ^c	2.7 \pm 0.73 ^c	2.3 \pm 0.06 ^c	2.2 \pm 0.05 ^c
SOM	%	3.1 \pm 0.20 ^c	2.2 \pm 0.16 ^c	2.3 \pm 0.10 ^c	3.1 \pm 0.17 ^c	3.3 \pm 0.30 ^c
CEC	cmol Kg ⁻¹	18.4 \pm 3.37 ^c	14.7 \pm 3.76 ^c	15.9 \pm 2.19 ^c	18.6 \pm 3.49 ^c	19.8 \pm 3.28 ^c
Na	cmol Kg ⁻¹	2.0 \pm 0.76 ^c	6.5 \pm 0.92 ^c	8.7 \pm 7.44 ^c	3.8 \pm 3.40 ^c	1.9 \pm 1.45 ^c
C _a CO ₃	%	4.5 \pm 0.05 ^c	8.9 \pm 0.05 ^c	3.0 \pm 0.03 ^c	14.3 \pm 0.12 ^c	13.5 \pm 0.23 ^c
C _a SO ₄	%	14.5 \pm 0.18 ^c	13.4 \pm 0.28 ^c	13.4 \pm 0.15 ^c	47.1 \pm 0.20 ^c	44.3 \pm 0.41 ^c
TN	%	0.18 \pm 0.004 ^d	0.16 \pm 0.009 ^d	0.13 \pm 0.01 ^c	0.20 \pm 0.03 ^d	0.20 \pm 0.01 ^d
EP	mg L ⁻¹	4.5 \pm 0.53 ^a	28.1 \pm 8.47 ^c	22.7 \pm 6.89 ^c	7.2 \pm 3.29 ^b	8.4 \pm 0.86 ^b
Ca	cmol Kg ⁻¹	2489.3 \pm 57.4 ^b	2596.7 \pm 63.6 ^b	2523.9 \pm 23.3 ^b	2588.5 \pm 109 ^b	2519.0 \pm 73.7 ^b
K	cmol Kg ⁻¹	3.5 \pm 0.22 ^b	9.6 \pm 3.3 ^b	11.6 \pm 3.2 ^b	9.2 \pm 3.8 ^b	6.2 \pm 1.9 ^b
Mg	cmol Kg ⁻¹	0.90 \pm 0.23 ^b	15.9 \pm .68 ^b	27.2 \pm 20.02 ^b	7.4 \pm 1.99 ^b	4.1 \pm 3.18 ^b
Cu	mg L ⁻¹	0.24 \pm 0.19 ^a	0.70 \pm 0.12 ^b	0.41 \pm 0.12 ^b	0.37 \pm 0.11 ^b	0.36 \pm 0.02 ^b
Zn	mg L ⁻¹	0.24 \pm 0.03 ^a	2.38 \pm 0.21 ^c	2.17 \pm 0.35 ^c	0.72 \pm 0.38 ^b	1.27 \pm 0.34 ^c
Fe	mg L ⁻¹	1.6 \pm 0.35 ^a	1.5 \pm 0.14 ^a	1.2 \pm 0.27 ^a	1.4 \pm 0.41 ^a	1.7 \pm 0.44 ^a
Mn	mg L ⁻¹	1.8 \pm 0.24 ^b	3.9 \pm 0.50 ^b	3.5 \pm 1.31 ^b	4.2 \pm 1.03 ^b	4.7 \pm 0.55 ^b

Same letter are for sites that are within the same category for each variable assessed; Values range from the lowest to the highest are a>b>c>d

Table 5: Soil classification (letters) of the variables analyzed and average values (n=6), \pm standard deviation for the soil depth 10-30 cm

Soil Chemical Property	Unit	Grassland	1 year	2 years	5 years	10 years
pH		7.9 \pm 0.04 ^d	8.0 \pm 0.06 ^d	8.0 \pm 0.05 ^d	7.9 \pm 0.03 ^d	7.8 \pm 0.01 ^d
EC	dSm ⁻¹	2.1 \pm 0.04 ^c	2.3 \pm 0.20 ^c	2.4 \pm 0.07 ^c	2.2 \pm 0.04 ^c	2.2 \pm 0.02 ^c
SOM	%	1.8 \pm 0.57 ^c	1.8 \pm 0.17 ^c	1.6 \pm 0.11 ^c	2.1 \pm 0.56 ^c	2.4 \pm 0.53 ^c
CEC	cmolKg ⁻¹	14.5 \pm 4.92 ^c	13.2 \pm 5.58 ^c	14.4 \pm 2.81 ^c	15.6 \pm 1.45 ^c	17.7 \pm 5.75 ^c
Na	cmolKg ⁻¹	2.0 \pm 0.46 ^c	4.8 \pm 1.26 ^c	7.2 \pm 1.87 ^c	3.0 \pm 1.08 ^c	1.1 \pm 0.38 ^c
CaCO ₃	%	4.4 \pm 0.21 ^c	7.9 \pm 1.40 ^c	2.9 \pm 0.15 ^c	4.6 \pm 0.05 ^c	9.4 \pm 0.17 ^c
CaSO ₄	%	14.7 \pm 0.07 ^c	14.0 \pm 0.12 ^c	14.1 \pm 0.19 ^c	14.4 \pm 0.14 ^c	13.8 \pm 0.24 ^c
TN	%	0.15 \pm 0.007 ^c	0.13 \pm 0.01 ^c	0.09 \pm 0.01 ^b	0.12 \pm 0.006 ^c	0.14 \pm 0.004 ^c
EP	mg L ⁻¹	2.4 \pm 0.47 ^a	13.5 \pm 7.85 ^c	14.1 \pm 0.35 ^c	5.1 \pm 0.50 ^a	5.5 \pm 1.30 ^a
Ca	cmol Kg ⁻¹	2507.2 \pm 55.0 ^d	2563.6 \pm 203 ^d	2559.9 \pm 93.0 ^d	2543.6 \pm 152 ^d	2513.3 \pm 67.4 ^d
K	cmol Kg ⁻¹	1.8 \pm 0.88 ^d	6.2 \pm 3.10 ^d	6.9 \pm 1.64 ^d	6.1 \pm 6.0 ^d	4.8 \pm 1.8 ^d
Mg	cmol Kg ⁻¹	0.65 \pm 0.46 ^b	11.8 \pm 1.52 ^d	22.5 \pm 4.91 ^d	8.7 \pm 4.88 ^d	3.2 \pm 1.36 ^c
Cu	mg L ⁻¹	0.13 \pm 0.02 ^a	0.37 \pm 0.09 ^b	0.30 \pm 0.08 ^b	0.25 \pm 0.09 ^b	0.27 \pm 0.11 ^b
Zn	mg L ⁻¹	0.06 \pm 0.02 ^a	1.4 \pm 0.33 ^c	1.4 \pm 0.13 ^c	0.37 \pm 0.27 ^a	0.71 \pm 0.58 ^b
Fe	mg L ⁻¹	0.93 \pm 0.16 ^a	0.98 \pm 0.20 ^a	0.91 \pm 0.05 ^a	0.89 \pm 0.38 ^a	1.0 \pm 0.44 ^a
Mn	mg L ⁻¹	1.1 \pm 0.14 ^b	2.0 \pm 0.46 ^b	1.8 \pm 0.28 ^b	2.2 \pm 0.55 ^b	2.2 \pm 0.19 ^b

Same letter are for sites that are within the same category for each variable assessed; Values range from the lowest to the highest are a>b>c>d

4. Conclusions

Results of this investigation show that, after one year of intensive cultivation of potato, chemical properties of the soil did not statistically differ over time up to 10 years of rest nor compared to those of the native grasslands. However, we emphasize the importance of considering not only statistical analysis but also soil classifications in order to detect changes that can be more relevant for management purposes.

According to the official Mexican soil classification, we detected that total N, extractable P, Mg, Cu and Zn fell in a higher category for the treatments of 1 and 2 years of rest than the native grasslands, and these values started decreasing at the fifth year approaching the values of the control areas.

These results lead us to reject our hypothesis as soil nutrients do not seem to be lost after this type of cultivation and the answer for the abandonment of the lands must be other.

5. Acknowledgements

The authors wish to thank the Mexican Council of Science and Technology for the scholarship given to the first author. Similarly, the authors acknowledge for the funding received through the UANL and PRACTICE project (Grant Agreement No. 226818).

6. References

Aghasi, B., Jalalian, A., Honarjoo, N., 2010. The Comparison of Some Soil Quality Indexes in Different Land uses of Ghareh Aghaj Watershed of Semirom, Isfahan, Iran. *International Journal of Environmental and Earth Sciences* 1, 2.

Alejo-Santiago, G., Salazar-Jara, F., Garcia-Paredes, J., Arrieta-Ramos, B., Jimenez-Meza, V., Sanchez-Monteon, A., 2012. Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15, 323-328.

Arriaga, L., Espinoza J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., Loa, E., 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México. Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F., 609.*

Bowman, R., Vigil, M., Nielsen, D., Anderson, R., 1999. Soil organic matter changes in intensively cropped dry land systems. *Soil Science Society of America* 63,186-191.

Buckley, D.H., Schmidt, T.M., 2001. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology* 42, 11-21.

Estrada-Castillón, E., Scott-Morales, L., Villarreal-Quintanilla, J., Jurado-Ybarra, E., Cotera-Corre, M., Cantú-Ayala, C., García-Pérez, J., 2010. Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81, 401-416.

FAO. 2006. Guidelines for soil description. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2006. Pág. 109.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. Tercera edición.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 1981. Síntesis geográfica de Nuevo León. México, D.F., 170.

Inzunza-Ibarra, M.A., Curtis, M.H. 2005. Variation of soil chemical properties in irrigated and non-irrigated areas of the LagunaRegion of Mexico. *TERRA Latinoamericana* 23 (4), 429-436. Universidad Autonoma Chapingo, Mexico.

McCready, B., Mehlman, D., Kwan, D. and Abel, B., 2005. The Nature Conservancy's Prairie Wings Project: A Conservation Strategy for the Grassland Birds of the Western Great Plains. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-191, 1158-1161.

Michelena, R., Morras, H. and Irurtia, C. 2008. Degradación física por agricultura continua de suelos franco-limosos de la provincia de Cordoba. INTA - CIRN; Instituto de Suelos, Argentina.

Presley, D.R., Ransom, M.D., Kluitenberg, G.J., Finnell, P.R. 2004. Effects of thirty years of irrigation on the genesis and morphology of two semiarid soils in Kansas. *Soil Science Society of America* 68, 1916-1926.

Pronatura Noreste, A.C., The Nature Conservancy (compiladores). 2007. Plan de conservación de los pastizales del Altiplano Mexicano 2006-2010: Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas. Monterrey, N.L., México, 171.

Sacchi, G., De Pauli, C., 2002. Evaluación de los cambios en las propiedades físicas y químicas de un argiustol údico por procesos de degradación. *Agrociencia* VI (2), 37-46.

Schoenholtz, S.H., Van, H., Burgerc, J.A., 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 138, 335-356.

Steel, R.G., Torrie, J.H. 1980. *Principles and Procedures of Statistics. A biometrical approach.* 2nd Edition. McGraw Hill International Book Company, Tokyo, Japan.

Wackerly, D.D., Mendenhall, W., Scheaffer, R.L. 2002. *Estadística Matemática con Aplicaciones.* 6a Edition, Thomson. Mexico, D.F.

Wang, Y., Zhang, X., Huang, C., 2009. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma* 150, 141-149.

CAPÍTULO III

Presencia de Nematodos Fitopatógenos en Áreas Agrícolas del Altiplano Mexicano



Fotografía de un nematodo fitopatógeno encontrado en las muestras de suelo de un área recién cosechada.

Resumen

La creciente transformación de pastizales naturales a cultivos intensivos de papa aunado a las generalmente inadecuadas prácticas agrícolas en la región del Altiplano del Noreste de México, traen consigo el interés por conocer por qué los ejidatarios abandonan las áreas hasta por 12 años, después de tan sólo un ciclo de cultivo. La apertura de nuevas áreas agrícolas ha causado la remoción de casi el 90% de la superficie de pastizales del área de estudio. Una de las consecuencias de las prácticas agrícolas inadecuadas es que pueden propiciar la presencia de plagas y enfermedades, las cuales afectan la salud del suelo y ocasionan reducciones en la productividad de los cultivos. Considerando que uno de los principales patógenos del suelo que reporta la literatura para el cultivo de papa son los nematodos, el objetivo de este estudio fue analizar la presencia de nematodos fitopatógenos que pudieran ser causantes de la baja en la producción de papa y, en consecuencia, de los continuos desmontes y pérdida de la riqueza biológica de estos ecosistemas. Se evaluó un área recién cosechada y áreas con 3, 7 y 12 años de abandono; además de áreas de pastizal natural como tratamiento testigo. Se reporta la densidad de nematodos encontrados en cada sitio y se concluye que éstos no son los responsables de la disminución en el rendimiento en el cultivo de papa en la zona.

Abstract

The increasing conversion of natural grasslands to intensive potato crops usually coupled with inappropriate agricultural practices in the Northern Mexican Plateau, bring the interest to know why the owners abandon the areas for up to 12 years after only a cycle of potato crop. Clearing for new agricultural areas has caused the removal of nearly 90% of grasslands of the study region. One of the consequences of inadequate agricultural practices might be the presence of pests and diseases, which affect soil health and crop productivity. Whereas one of the main soil pathogens reported by the literature for the potato crop are nematodes, the aim of this study was to analyze the presence of some pathogens that could be causing the decline in potato production and, consequently, the continuous deforestation and loss of biological richness of these ecosystems. We evaluated a newly harvested area and areas with 3, 7 and 12 years of abandonment as well as a natural grassland area as control. The density of nematodes found in each site is reported and we concluded that nematodes are not responsible for the decline in potato yield in the area.

1. Introducción

Los nematodos del suelo son uno de los grupos de animales más abundantes y diversos en el planeta (Cares y Huang, 2006; Desgarenes *et al.*, 2009). Pueden ser omnívoros, predadores, fungívoros, bacterióvoros, detritívoros, parasitos (de vertebrados e invertebrados) o herbívoros; por ello, sus funciones y servicios dentro de la red alimenticia del suelo son primordiales (Bongers y Bongers, 1998; Neher, 2001; Cares y Huang, 2006). Así mismo, juegan un papel importante como agentes de ciclado de nutrientes y como reguladores de la fertilidad del suelo (Procter, 1990) y, debido a que son muy sensibles y dan rápida respuesta a los cambios ambientales (Neher, 2001; Fiscus y Neher, 2002) son considerados como bioindicadores de conservación o disturbio del suelo (Yeates, 2003; Huang y Cares, 2006; Ritz *et al.*, 2009; Sánchez-Moreno, 2010). De acuerdo a Berkelmans *et al.*, (2003) en suelos agrícolas la presencia de una abundante población de nematodos fitoparásitos es un indicador adicional de mala salud del ecosistema. El control de éstos en el suelo, bajo un manejo convencional, implica hasta tres aplicaciones de nematicidas al año (Davide, 1996), cuyos ingredientes activos son considerados los más tóxicos utilizados en la agricultura (Rey *et al.*, 2000). Esto, además de representar una amenaza para la salud humana, constituye una práctica de alto costo económico y ambiental ya que afecta negativamente las poblaciones de enemigos naturales de los nematodos presentes en el suelo y en la rizosfera (Chávez, 2007). Así mismo, este tipo de nematodos es considerado a nivel mundial uno de los factores limitantes de los cultivos agrícolas (Tardé *et al.*, 1981) por ocasionar

enfermedades que causan pérdidas significativas en los cultivos (Guzmán-Hernández *et al.*, 2011; Robles y Pérez, 2011). Los nematodos fitoparásitos son especialmente problemáticos en condiciones marginales de suelo o irrigación, en suelos muy arenosos o demasiado arcillosos, en perfiles poco profundos, cuando el agua es un factor limitante y cuando las prácticas agrícolas no son las adecuadas (marcos de plantación demasiado altos, monocultivos y rotaciones con varios cultivos susceptibles al mismo nematodo) (Talavera, 2003; Nico, 2002). Según Guzmán-Hernández *et al.*, (2011) pueden causar daño mecánico o afectación de los procesos fisiológicos del desarrollo de la planta, disminuyendo su vigor y reduciendo su capacidad para soportar situaciones de estrés fisiológico. De acuerdo a Trudgill *et al.*, (1998) en el caso del cultivo de papa, esto da lugar a un menor número de tubérculos que son además más pequeños, conllevando a pérdidas de rendimiento del cultivo difíciles de predecir porque dependen, entre otros factores, del nivel de infestación y de la variedad cultivada. González y Franco (1997) consideran que las enfermedades ocasionadas por los nematodos fitoparásitos juegan un papel vital en la producción del cultivo de papa ya que a menudo desempeñan un papel gravitante en la interacción con otros agentes patógenos del cultivo (virus, bacterias, etc.) ocasionando enfermedades complejas y afectando la resistencia de las plantas a otros organismos fitopatógenos. Una de las actividades económicas más importantes que se practica en la región noreste del Altiplano Mexicano es la producción de papa (Arellano *et al.*, 2010), la cual se cultiva desde 1950 (Treviño y Grant, 1998) y, desde entonces, la superficie cultivada se ha incrementado trayendo como consecuencia que muchas áreas de vegetación original hayan sido removidas. Dentro de esta región se encuentran ecosistemas de pastizales gipsófilos que contienen una riqueza natural de

gran importancia para su conservación (Arriaga *et al.*, 2000) debido a que abrigan especies endémicas tanto de flora como de fauna (Ceballos *et al.*, 1993; CITES, 2000; NOM-059-SEMARNAT-2001); pese a ello, estos ecosistemas han sido fuertemente impactados por la conversión de los pastizales a tierras de cultivo. Uno de los casos más notorios de degradación de estos ecosistemas es el Ejido El Tokio, donde ha sido removido el 90% de la superficie ocupada por pastizales (Estrada-Castillón *et al.*, 2010) afectando fuertemente a las poblaciones de fauna, dentro de las que se encuentran el perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus* Merriam.), especie endémica catalogada como especie en peligro de extinción (NOM-059-SEMARNAT-2001). La problemática en esta área radica en que después de un ciclo de cultivo de papa los ejidatarios abandonan las áreas hasta por 12 años, argumentando que la producción decrece notablemente en un segundo ciclo, lo que ha llevado a abrir sucesivamente nuevas áreas a tal grado de remover la superficie anteriormente mencionada sin existir estudios que indiquen con certeza cuál es la causa de esta baja en la producción. De acuerdo a estudios en áreas aledañas, el cultivo se ha visto afectado por la presencia de nematodos fitopatógenos (Leo, 1972; SARH, 1987; Arciga, 1992; Rueda-Puente *et al.*, 2006). Es por ello que el objetivo de esta esta investigación es detectar la presencia de nematodos fitopatógenos que pudieran influir en la disminución de la producción del cultivo de papa y que, a su vez, estén causando el deterioro de este importante ecosistema. Los resultados de esta investigación serán clave en la elaboración de propuestas de manejo sustentable que promuevan la conservación del ecosistema.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

Este estudio se realizó en el Ejido El Tokio perteneciente al municipio de Galeana, Nuevo León, el cual cuenta con una superficie de 5,400 hectáreas ubicadas entre las coordenadas 24° 40' 55'' N y 100° 14' 20'' O, a una altitud entre 1900 y 2000 msnm. Esta área forma parte del Desierto Chihuahuense y se encuentra comprendida dentro de los ecosistemas áridos y semiáridos que conforman el Altiplano Mexicano (Figura 1). Presenta extensas áreas abiertas al cultivo de papa (Gutiérrez, 2008; Estrada-Castillón *et al.*, 2010) las cuales anteriormente pertenecían a ecosistemas de pastizales halófilos y gipsófilos, impactando principalmente a las poblaciones del perrito de la pradera (*Cynomys mexicanus*) y otras especies de flora endémicas del lugar como lo son *Frankenia gypsophila*, *Aster gypsophila*, *Atriplex muricata* y *Bouteloua chasei* entre otras (Estrada-Castillón *et al.*, 2010). Los suelos en el área son ligeramente alcalinos, tipo solonchack con una fase petrogíptica y xerosoles háplicos (INEGI, 1981), presentando una textura franco limosa fina (Silva-Arredondo *et al.*, 2013). El clima de la región es seco semicálido o árido, con una precipitación media anual de 333.8 mm y una temperatura media anual que oscila entre los 18 y los 22°C (García, 1981). El agua de riego utilizada para el cultivo proviene de pozos profundos y ha sido clasificada como de "alta a muy alta" salinidad y, en algunos casos, con sodicidad media de acuerdo con la Norma Riverside (Mendoza *et al.*, 2009). De acuerdo a información personal proporcionada por el técnico encargado del área, el pesticida que principalmente aplican

para combatir nematodos es: Furadán. FURADAN®48 F es un insecticida y nematicida sistémico y de contacto, a base de carbofuran, uno de los pesticidas de carbamato más tóxicos, especialmente indicado para el control de insectos y gusanos en tratamiento de suelo (Dupont, 2013).



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

2.2 Muestreo

Se seleccionaron áreas agrícolas con: 3, 7 y 12 años de descanso, un área recién cosechada donde se presentó baja producción y daño en la papa y, como testigo, un área de pastizal natural. Se seleccionaron tres parcelas de 1 hectárea para cada condición de sitio y, en cada parcela, se realizó un muestreo sistemático en zig-zag, tomando un total de 12 submuestras a una profundidad de 30 cm con las cuales se hizo una mezcla homogénea (Figura 2). El muestreo se realizó en enero del 2013.

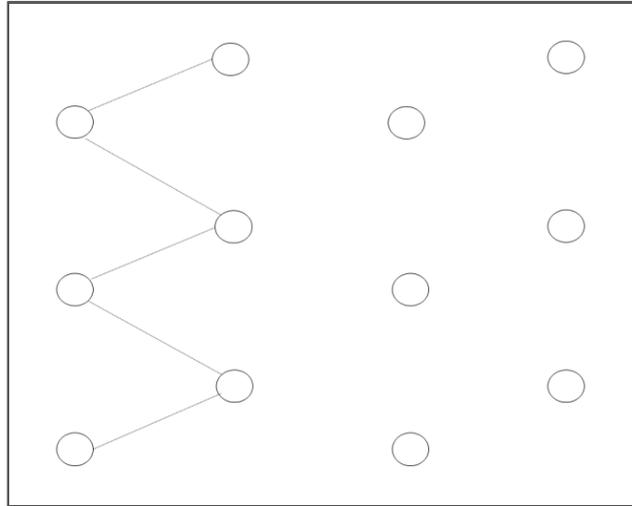


Figura 2. Muestreo sistemático en zig-zag realizado.

2.3 Análisis de laboratorio

La detección de nematodos se realizó mediante el método de centrifugado y flotación de azúcar de acuerdo a Caveness y Jensen (1955). Para el análisis se utilizaron 4 tamices de 1000, 100, 0.84 y 0.044 μm colocándolos de mayor a menor, uno sobre otro, sobre una cubeta de plástico. En un vaso de precipitado se disolvieron 200 gr de suelo en 200 ml de agua dejando reposar durante 1 minuto la mezcla. Posteriormente, el suelo diluido se pasó por los tamices, retirando uno a uno hasta llegar al tamiz más pequeño y se colectó una pequeña muestra en tubos de ensayo. A esta muestra se le agregó una pequeña cantidad de caolín y se centrifugó durante 3 a 7 minutos a 3000 revoluciones por minuto. Posteriormente se descartó el sobrenadante y se agregó una mezcla de agua con azúcar al 40% hasta aproximadamente la mitad del tubo de ensayo y se agitó para después volver a centrifugar esta mezcla por 1 minuto entre 1500 y 2000 revoluciones por

minuto. La muestra obtenida después de este proceso se pasó por el tamiz más pequeño retirando el sobrenadante y ahí se colectaron los nematodos retenidos en el tamiz con ayuda de una pisseta y agua destilada, colocándolos en una caja Petri dividida anteriormente en cuadrantes. Finalmente, los nematodos colectados en las cajas Petri fueron contabilizados por cuadrante con ayuda del estereoscopio (Figura 3).



Figura 3. Pasos del método de centrifugado y flotación de azúcar para la identificación de nematodos.

2.4 Análisis estadístico

Debido a que dentro de las repeticiones realizadas existían datos sin observaciones, los datos tuvieron que ser transformados a Log 10. Posteriormente se utilizó un análisis de varianza y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey.

3. Resultados y Discusión

Los resultados muestran que en el pastizal natural y en el sitio con 12 años de descanso se registraron las mayores densidades de nematodos con 0.56 y 0.35 nematodos/gr de suelo, siendo estos dos tratamientos estadísticamente iguales ($\alpha=0.05$). Los sitios con 7 y 3 años de descanso mostraron una densidad de 0.19 y 0.03 nematodos/gr de suelo y el área recién cosechada mostró una densidad de 0.09 nematodos /gr de suelo, siendo estos tres iguales entre sí e iguales al de 12 años de abandono (Tabla 1). De acuerdo a Talavera (2003) los límites de tolerancia en el cultivo de papa para algunos nematodos como *Meloidogyne* spp, *Globodera rostochiensis* y *Globodera pallida* son de 10, 50 y 10 nematodos/100 gr de suelo respectivamente, mientras que su umbral económico es de 100, 1500 y 300 nematodos/100 gr de suelo. Así mismo, para que el rendimiento del cultivo se reduzca entre un 20 y 50%, la población de nematodos debe alcanzar 16 y 32 huevos/gr de suelo respectivamente, disminuyendo completamente la producción cuando la población inicial es de 64 huevos/gr de suelo (Greco, 1993; Perry, 1996).

Los resultados parecen indicar que el efecto del nematicida (Furadán) persistió hasta 7 años después de haber cosechado la papa o por lo menos que no pudo re-establecerse la población de nematodos propia del suelo del sitio hasta ese tiempo. Esto es coincidente con lo publicado por Núñez *et al.*, (2003) quienes reportan que las áreas con menor densidad de nematodos fueron reflejo de la aplicación del pesticida Furadán, persistiendo por lo menos hasta por 3 años. Sin embargo, aun cuando parece que este nematicida está controlando las poblaciones de nematodos, de acuerdo a Rueda-Puente *et al.*, (2006) y Montero *et al.*, (2007) es importante considerar que una de las

principales causas del traslado de los nematodos fitopatógenos de un área aledaña al área de estudio y viceversa es el intercambio de semilla contaminada, por lo que ésta debe ser tratada con un nematicida antes de la siembra para evitar o disminuir la contaminación de las áreas, o bien reducir posibles gastos al tratar de controlarlos en campo.

Dentro del análisis de suelos se identificó el género *Helicotylenchus* en el pastizal natural y el sitio con 7 años de abandono (Figura 4), el cual ha sido reportado por Montes-Belmont (2002) para el cultivo de papa y por Robles (2011) en áreas de cultivo de sorgo en Irapuato, Guanajuato, en poblaciones de 0.38 nematodos/gr de suelo.

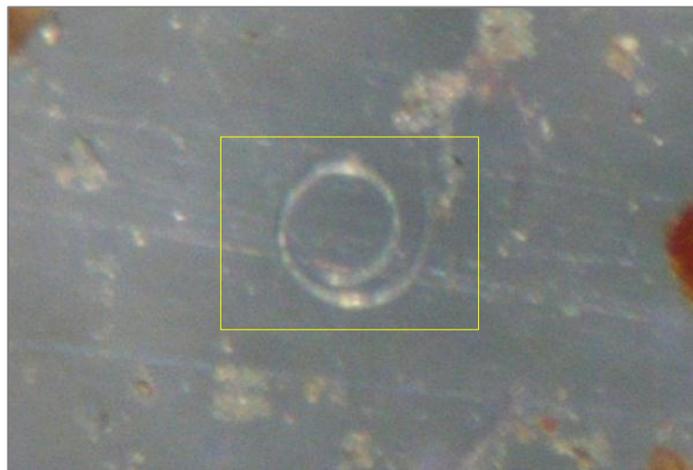


Figura 4. Género *Helicotylenchus* detectado en el pastizal natural y el sitio con 7 años de abandono.

Tabla 1. Resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey^a ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
3 años	3	1.7320		
RC	3	2.4308		
7 años	3	3.6962	3.6962	
12 años	3		4.9262	4.9262
PN	3			6.0874
Sig.		0.1042	0.4429	0.4943

^a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000. Donde: RC (Recién cosechada) y PN: (Pastizal natural)

4. Conclusiones

Los resultados descartan la posibilidad de que los nematodos sean la causa del abandono de las tierras. Las densidades menores de nematodos en el área recién cosechada y la de 3 años de abandono puede deberse a la persistencia del furacán en el suelo hasta por lo menos 7 años, ya que si bien el área con 7 años es estadísticamente igual que la de 12 lo es también igual que la de 3 años y el área recién cosechada. Con excepción del área de 3 años de abandono, se puede observar que con el paso del tiempo tienden a tener mayor densidad de nematodos, mientras que en el pastizal natural es de esperarse encontrar una

mayor densidad, debido posiblemente a una mayor diversidad de plantas. Así mismo es importante mencionar que la presencia de los nematodos depende del manejo y las prácticas agrícolas llevadas a cabo en el área, así como de las condiciones ambientales locales.

5. Literatura Citada

Arciga, F.B. 1992. Situación Actual del Nematodo Dorado de la Papa *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 en Algunos Terrenos de Navidad, Municipio de Galeana, N.L. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 58 p.

Arellano, M., Villavicencio, E. y S. García. 2010. Producción de plántulas y semilla prebásica de variedades comerciales de papa libres de enfermedades. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ISBN: 978-607-425-301-6 Primera Edición 2010. No. de Registro INIFAP/CIRNE/A-458.

Arriaga, L., Espinoza J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 609 p.

Berkelmans, R., Ferris, H., Tenuta, M. y A. van Bruggen. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology* 23 223–235.

Bongers, T., and Bongers, M. 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10: 239–251.

Cares, J. E. y Huang, S. P. 2006. Nematode communities in soils under different land-use systems in Brazilian amazon and savanna vegetation’, in F. M. Moreira, J. O. Siqueiera and Brussaard, L. *Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems*, CABI Publishing, London, pp. 163–183.

Caveness , F.E. and Jensen, H.J. 1955. Modification of centrifugal- flotation technique for the isolation and concentration of nematodes and their eggs from soil and plant tissue. *Proc. Helm. Soc.Wash.* 22 (2) : 87-89.

Ceballos, G. E., E. Melink y L. R. Hanebury. 1993. Distribution and conservation status of prairie dog *Cynomys mexicanus* in Mexico. *Biological Conservation* 63:105-112.

Chaves, E. 1987. *Nemátodos Fitófagos (Nemátodos Parásitos de la Papa)*. INTA- E. E. A. Balcarce- Laboratorio de Nematología. Argentina

Chaves, N. 2007. Utilización de bacterias y hongos endofíticos para el control biológico del nematodo barrenador *Radopholus similis* (Cobb) Thorn. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora). 2000. Listado vigente de las especies incluidas en los apéndices de la

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, Geneve, Suiza. 684 p.

Davide, RG. 1992. Studies on chemical and biological control of banana nematodes. In Davide, RG. ed. Studies on nematodes affecting bananas in the Philippines. Los Baños, Philippine Agriculture and Resources Research Foundation, PH. p. 107-110.

Desgarnes, D., Sánchez-Nava, P., Peña-Santiago, R. y G. Carrión. 2009. Nematofauna asociada a la rizosfera de papas (*Solanum tuberosum*) cultivadas en la zona productora del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 611-614.

Dupont. http://www.agrosoluciones.dupont.com/esp/ficha_tecnica.php?producto=41. Consultada en 2013.

EPPO. 1994: Distribution List 1993-12 EPPO Secretaria, Paris.

Estrada-Castillón, E., Scott-Morales, L., Villarreal-Quintanilla, J., Jurado-Ybarra, E., Cotera-Corre, M., Cantú-Ayala, C. y J. García-Pérez. 2010. Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81, 401- 416.

Fiscus, D.A., Neher, D.A. 2002. Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. *Ecol. Appl.* 12, 565-575.

García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. Tercera edición.

González, A. y J. Franco. 1997. Los Nematodos en la producción de semilla de papa. Manual de Capacitación Producción de Tubérculos-Semillas de Papa. Centro Internacional de la Papa (CIP).

Greco, N. 1993. Nematode problems affecting potato production in subtropical climate. *Nematropica* 23: 213-220.

Gutiérrez, M. 2008. Impacto antropogénico en la región prioritaria para la conservación “El Tokio”, en el Altiplano Mexicano. Tesis de Maestría. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN. FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES.

Guzmán-Hernández, T., Hernández-Villalobos, S., Varela-Benavides, I., Durán-Mora, J. y W. Montero-Carmona. 2011. Nematodos fitoparásitos asociados al arroz en las regiones Huetar Norte Y Huetar Atlántica de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 22(1):21-28. ISSN: 1021-7444

Huang, S. P. y Cares, J. E. 2006. Nematode communities in soils under different land-use systems in Brazilian Amazon and savanna vegetation, in F. M. Moreira, J. O. Siqueira and L. Brussaard (eds) *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*, 1st edition, CAB International, Wallingford, pp. 163–183.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1981. Síntesis geográfica de Nuevo León. México, D.F. 170 p.

Leo, G.K. 1972. Golden nematode infestation found in Mexico. *American Potato Journal* 49:281.

Mendoza, D. 2009. Effect of ground water. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. Vol 2(3): 255-259.

Montero, Z., García, C., Salazar, L., Valverde, R., Gómez-Alpízar, L. 2007. Detección de *Meloidogyne incognita* en tubérculos de papa en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 31(1): 77-84. ISSN:0377-9424.

Montes-Belmont, R. 2002. Nematología vegetal en México. Sociedad Mexicana de Fitopatología. Sonora, México. 98 p.

Neher, D. A. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *J Nematology*. 33: 161–168.

Nico, A. 2002. Incidencia y patogenicidad de nematodos fitopatógenos en plantones de olivo (*Olea europaea* L.) en viveros de Andalucía, y estrategias para su control. Tesis de doctorado. Universidad de Córdoba.

Norma Oficial Mexicana-NOM-059-SEMARNAT-2001 Protección ambiental –especies nativas de México de flora y fauna silvestres- categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo, México, D.F.

Perry, R.N. 1996. Root diffuses and hatching factors. *Aspect of Applied Biology* 22:121-128.

Procter, D. L. C. 1990. Global overview of the functional roles of soil-living nematodes in terrestrial communities and ecosystem, *Journal of Nematology*, vol. 22, no. 1, pp. 1–7.

Rey, M; Delgado-Jarana, J; Rincón, AM; Limón, MC; Benítez, T. 2000. Mejora de cepas de *Trichoderma* para su empleo como biofungicidas. *Revista Iberoamericana de Micología* 17:S31-S36.

Ritz, K., Black, H.I.J., Campbell, C.D., Harris, J.A., Wood, C. 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators* 9, 1212-1221.

Robles Hernández, Juan Pablo, Pérez Moreno, Luis. 2011. Densidad Poblacional de Nematodos Fitoparásitos en Suelo de Irapuato, Guanajuato. *Revista Mexicana de Fitopatología*. ISSN 0185-3309

Rueda-Puente, Edgar Omar, Tarazón-Herrera, Mario Antonio, García-Hernández, José Luís, Murillo-Amador, Bernardo, Holguín-Peña, Ramón Jaime, Flores-Hernández, Arnoldo, Preciado-Rangel, Pablo, Barrón-Hoyos, Jesús Manuel, García-Camargo, Jesús. 2006. Presencia del Nematodo Dorado *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Skarbilovich, en Lotes de Papa (*Solanum tuberosum* L.) del Estado de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. ISSN 0185-3309.

Sanchez-Moreno, S., Jimenez, L., Alonso-Prados, J.L., Garcia-Baudin, J.M. 2010. Nematodes as indicators of fumigant effects on soil food webs in strawberry crops in Southern Spain. *Ecological Indicators* 10, 148-156.

SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1987. Cuarentena Interior Permanente No.17 Contra el Nematodo Dorado de la Papa *Globodera rostochiensis*. Diario Oficial del Martes 10 de Noviembre. México, D.F. 63 p.

Silva-Arredondo, F., Pando Moreno, M., González-Rodríguez, H. and L. Scott-Morales. 2013. Changes in the Chemical Properties of a Soil Impacted by Intensive Agriculture, North-eastern Mexico. International Journal of Bio-resource and Stress Management. 4(2):126-131.

Talavera, M. 2003. Manual de Nematología Agrícola. Introducción al Análisis y al control nematológico para agricultores y técnicos de agrupaciones de defensa vegetal. Institut de Recerca i Formació agrària i pesquera.

Tardé, R.; Pinochet, J. 1981. Problemas nematológicos del banano, contribuciones recientes a su conocimiento y combate. Panamá, UPEB, 32 Pág.

Treviño, V. J. y W. E Grant. 1998. Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). Journal of Mammalogy 79:1273-1287.

Trudgill D.L., K. Evans, and M.S. Phillips. 1998. Potato cyst nematodes: damage mechanisms and tolerance in the potato. In: R.J. Marks, B.B. Brodie (Eds). Potato Cyst Nematodes. Biology, Distribution and Control. University Press, Cambridge, U K.117-134.

Turner, S.J., and Evans, K. 1998. The origins, global distribution and biology of potato cyst nematodes [*Globodera rostochiensis* (Woll.) and *Globodera pallida* Stone]. pp. 2-

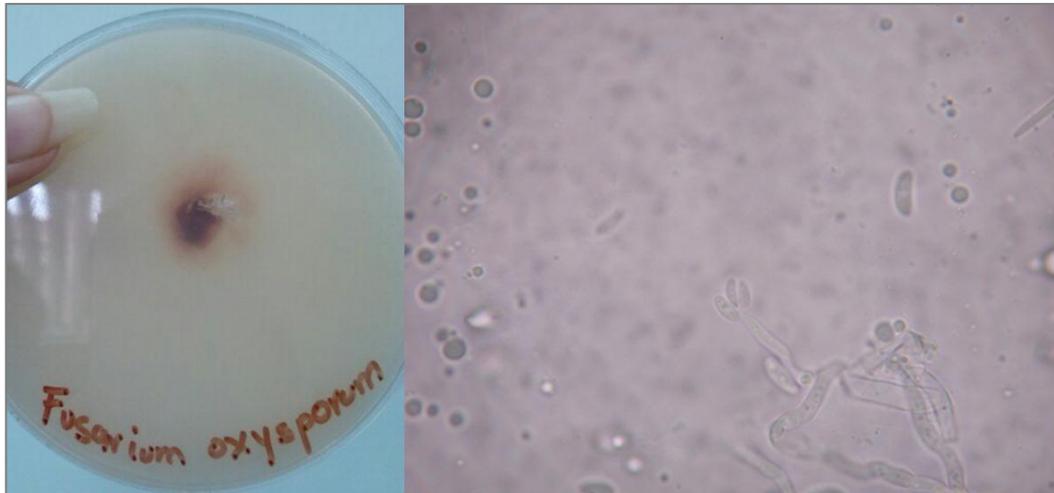
26. In: R.J. Marks, and B.B. Brodie (eds.). Potato Cyst Nematodes: Biology, Distribution, and Control. CAB International. Wallingford, UK.

Webster, J. M. 1987. Principles and Practice of Nematode Control in Crops (Brown, R. H. y Kerry, B. R. eds). Academic Press, Sidney. pp. 1-11

Yeates, G. W. 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. Biol. Fert. Soils, 37: 199-210.

CAPÍTULO IV

Hongos Fitopatógenos en Suelos Gypsófilos del Altiplano Mexicano



Fotografías de características macroscópicas y microscópicas del hongo

Fusarium oxysporum.

Resumen

La riqueza biológica de los pastizales gipsófilos del noreste de México se encuentra fuertemente amenazada por la transformación de estos ecosistemas a cultivos intensivos de papa. Anualmente se desmontan nuevas extensiones ya que los productores abandonan las áreas tras un ciclo de cultivo argumentando que la producción decrece notablemente en un segundo ciclo. El objetivo de este estudio fue analizar la presencia de hongos fitopatógenos que pudieran ser causantes de la baja en la producción de papa y, en consecuencia, de los continuos desmontes y pérdida de la riqueza biológica de estos ecosistemas. Se evaluó la presencia de hongos fitopatógenos en un área de pastizal natural, un área recién cosechada y áreas con 2, 3, 7 y 12 años de abandono. Se detectó la presencia de *Fusarium spp* y *Alternaria alternata* en tubérculos de papa que presentaban evidencia de daño. Los resultados confirmaron la presencia del género *Fusarium* en el suelo del área recién cosechada así como en los sitios con 2, 3 y 7 años de abandono. Sin embargo, en el pastizal natural y el sitio de 12 años de abandono no se encontró la presencia de este fitopatógeno. Se sembraron muestras de suelo del área recién cosechada en medio de cultivo al que se aplicó el fungicida TECTO 60 en concentraciones menores, mayores e igual a la utilizada por los agricultores del área de estudio. Se detectó la presencia del hongo *Fusarium oxysporum* aun cuando se utilizaron las mayores concentraciones del fungicida.

Abstract

Biological richness of the gypsophilic grassland ecosystems of northeastern Mexico is strongly threatened by the transformation of these ecosystems to intensive potato crops. New extensions are removed annually as producers leave the areas after one growing cycle arguing that production decreases significantly in a second cycle. The aim of this study was to analyze the presence of fungal pathogens that could be causing the decline in potato production and, consequently, the continuous deforestation and loss of biological richness of these ecosystems. We evaluated the presence of fungal pathogens in natural grasslands, recently harvested areas and areas with 2, 3, 7 and 12 years of abandonment after one year of potato cultivation. We detected the presence of *Fusarium* spp and *Alternaria alternata* on potato tubers that had evidence of damage. The results confirmed the presence of *Fusarium* in soil of the recently harvested area as well as at sites with 2, 3 and 7 years of fallow. However, in the natural grassland and the site with 12 years of abandonment the presence of this plant pathogen was not found. Additionally, soil samples from the recently harvested area were placed into a culture medium where fungicide TECTO 60 was applied in three concentrations: lower, higher and equal to that used by the potato producers in the area. The fungus *Fusarium oxysporum* was detected even when the highest concentrations of the fungicide were used.

1. Introducción

A través del tiempo, el uso inapropiado de prácticas agrícolas ocasiona el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Amézquita, 1992; Michelena *et al.*, 2008); lo cual trae consigo la disminución del potencial productivo de éste y, por ende, del rendimiento agrícola (Lal, 2000). Bajo estas condiciones, el productor requiere emplear cada vez más fertilizantes para mantener los mismos rendimientos agrícolas (Oldeman *et al.*, 1992) y, con el afán de lograr un mayor aseguramiento de la producción utiliza plaguicidas, en ocasiones de manera inadecuada y excesiva, provocando un alto costo ambiental (Pérez y Landeros, 2009). En la actualidad, las graves consecuencias ambientales, productivas y económicas causadas por la degradación del suelo hacen de gran relevancia el estudio de los procesos y factores que inciden en la degradación del mismo, así como de la búsqueda de alternativas para contrarrestarlos (Domínguez *et al.*, 2006). Para conocer el nivel de deterioro de un suelo y el efecto que está produciendo el manejo cultural sobre la calidad de éste, se pueden cuantificar sus parámetros químicos, físicos y biológicos (Nielsen *et al.*, 2002). La región Noreste de México cuenta con una gran extensión de zonas áridas y semiáridas particularmente afectadas por la degradación del suelo, debido a la transformación de los ecosistemas naturales a terrenos de agricultura de riego (McCready *et al.*, 2005). Este estudio se realizó específicamente en los pastizales gipsófilos del noreste de México, cuya gran riqueza biológica se encuentra fuertemente amenazada por la transformación de estos ecosistemas a terrenos de cultivo intensivo de papa (Arriaga *et al.*, 2000; Estrada-Castillón *et al.*, 2010; Pronatura Noreste [PNE] y The Nature Conservancy [TNC], 2007). La problemática en

esta región radica en que cada año se desmontan nuevas extensiones de pastizales ya que los productores de papa abandonan las áreas abiertas después de un solo ciclo de cultivo argumentando que la producción decrece notablemente en un segundo ciclo. Esta baja en la producción ha propiciado que los ejidatarios dejen descansar las áreas cultivadas hasta por 12 años, periodo durante el cual desmontan nuevas áreas, con lo que de 1950 a la fecha han removido hasta un 90% de los pastizales del Ejido El Tokio (Estrada-Castillón *et al.*, 2010) donde se realizó esta investigación. Estudios recientes descartan la posibilidad de que el largo tiempo que dejan abandonados los terrenos antes de volver a cultivar papa en ellos se deba a que el suelo queda desprovisto de algún nutriente o alterada alguna propiedad química que afecte negativamente la producción (Silva-Arredondo *et al.*, 2013). Sin embargo, a pesar de la severidad del problema y de las repercusiones que éste tiene en la pérdida de hábitat para especies endémicas de la región, no existen otro tipo de estudios en el área que puedan explicar cuál es la causa de la baja en la producción del cultivo de papa. De acuerdo a la literatura uno de los principales agentes patógenos que causan enfermedades a los cultivos de mayor importancia económica, como lo es el cultivo de papa, son los hongos fitopatógenos (Rubio *et al.*, 2000; Rodríguez, 2001; Castro y Contreras, 2011). Por ello, el presente estudio estuvo dirigido a determinar la presencia de hongos fitopatógenos del suelo que pudieran ser el agente causal de la baja en la producción en el cultivo de papa y, por ende, estar contribuyendo en la degradación de este importante ecosistema. Los resultados de esta investigación serán un importante aporte en la definición de nuevas estrategias de manejo sustentable en esas áreas.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

Este estudio se realizó en el Ejido El Tokio perteneciente al municipio de Galeana, Nuevo León. Cuenta con una superficie de 5,400 hectáreas ubicadas entre las coordenadas 24° 40' 55'' N y 100° 14' 20'' O, a una altitud entre 1900 y 2000 msnm. Esta área se encuentra al sur del Desierto Chihuahuense, comprendida dentro de los 58.5 millones de hectáreas de ecosistemas áridos y semiáridos que conforman el Altiplano Mexicano (Figura 1). Sin embargo, a pesar de la pequeña superficie que abarca, su problemática es considerada como representativa de lo que ocurre en todo el Altiplano, debido a que en ella se ha removido hasta en un 90% su vegetación natural, convirtiéndola en extensas áreas abiertas al cultivo de papa. Esto ha impactado fuertemente al ecosistema, el cual presenta especies animales y vegetales de gran importancia de conservación, tal como el perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*) y las especies de *Frankenia gypsophila* y *Bouteloua chasei* (Estrada-Castillón *et al.*, 2010). Los suelos en el área son ligeramente alcalinos, tipo solonchack con una fase petrogípsica y xerosoles háplicos (INEGI, 1981). El clima de la región es seco semicálido o árido, con una precipitación media anual de 333.8 mm y una temperatura media anual que oscila entre los 18 y los 22°C (García, 1981). El agua de riego utilizada para el cultivo proviene de pozos profundos y ha sido clasificada como de "alta a muy alta" salinidad y, en algunos casos, con sodicidad media de acuerdo con la Norma Riverside (Mendoza *et al.*, 2009). De acuerdo a información personal proporcionada por el técnico encargado del área los fungicidas que principalmente aplican son: Amistar

(Azoxyestrobín + clorotalonil), Vigold (Fluoxastrobín), Tiofanato metílico (Dimetil-4), Monceren (Pencicuron), Manzate (Mancozeb), Prontius 70% (Tiofanato metílico), Movento (SPIROTETRAMAT), Folicur (Tebuconazole) y Tecto 60 (Thiabendazol: 2-(4-Tiazolil)-1H-benzimidazol). Este último específicamente para el género *Fusarium*.



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

2.2 Muestreo

Para el muestreo de suelo se seleccionaron áreas agrícolas con 2, 3, 7 y 12 años de descanso, un área recién cosechada donde se presentó baja producción y daño en la papa y, como testigo, un área de pastizal natural. Se seleccionaron tres parcelas de 1 hectárea para cada condición de sitio y, en cada parcela, se realizó un muestreo sistemático en zig-zag, tomando un total de 12 submuestras (Figura 2), con las cuales se hizo una mezcla homogénea (Figura 3). El muestreo se realizó en abril del 2013. Para el muestreo del material vegetal se colectó una muestra de 30 tubérculos de papas con daño evidente,



Figura 4. Tubérculos de papa con daño evidente colectadas en un área recién cosechada.

2.2 Análisis de laboratorio

Para el aislamiento del microorganismo se tomaron muestras de diferentes tubérculos de papa que presentaban síntomas de pudrición; después, en condiciones asépticas se realizaron cortes del tejido enfermo de diferentes partes de los tubérculos y fueron colocados sobre el medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), al que se agregaron 0.5 gr de ciprofloxacino como antibiótico para luego ser incubados por un lapso de aproximadamente 8 días hasta que aparecieron los hongos. Estos fueron identificados bajo microscopio con ayuda de especialistas en el área y de claves taxonómicas (Domsch y Gams, 1993 y Barnett y Hunter, 1998). Así mismo, se evaluaron a detalle los síntomas que presentaban los tubérculos de papa de acuerdo a Rubio *et al.*, (2000); Castro y Contreras (2011); Pérez y Forbes (2011).

Una vez identificados los hongos presentes en las papas, se realizó el cultivo y aislamiento de los hongos del suelo, para verificar su presencia en éste (Figura 5). Para ello se utilizaron 2 métodos diferentes:

a) Dilución 1:50,000

Para el cultivo y aislamiento de los hongos se realizaron 3 repeticiones por parcela de cada sitio, obteniendo con esto 9 muestras por sitio. De cada muestra de suelo se pesaron 20 g y se disolvieron en 200 ml de agua destilada, utilizando esta primera dilución como dilución madre. Posteriormente, se tomó 1 ml de dilución madre y se diluyó en 500 ml de agua destilada. De esta última dilución se tomó 1 ml y se inoculó en el agar contenido en las cajas Petri antes de que el agar fuera solidificado a una temperatura de 50°C. Los cultivos se colocaron en una incubadora a una temperatura ambiente por 8 días entre los cuales se estuvieron observando y analizando, tomando datos como el número de colonias y características de éstas hasta que se desarrollaran y presentaran esporas para ser identificados con ayuda del microscopio y de las claves taxonómicas según Domsch y Gams (1993) y Barnett y Hunter (1998).

b) Siembra directa

Para el cultivo y aislamiento de los hongos por el método de siembra directa se consideró una muestra por parcela de cada sitio, de tal manera que por sitio se tuvieron 3 repeticiones. De cada muestra se pesó la cantidad de 10 mg de suelo y se espolvoreó de

manera directa y uniforme en las cajas de Petri con agar, antes de que éste fuera solidificado por completo. Posteriormente, se colocaron en una incubadora a temperatura ambiente por 5 días y se observaron diariamente para tomar nota tanto del número de colonias como de las características de éstas hasta ser identificadas.

La identificación de los hongos se efectuó mediante la ayuda de las claves taxonómicas, considerando tanto características microscópicas como macroscópicas. Las características microscópicas se observaron con ayuda de un microscopio óptico, determinando la morfología del micelio, tipo de esporas, presencia o ausencia de micro y macroconidias, tipo de fiálides y presencia o ausencia de clamidosporas producidas. Así mismo se observaron las características macroscópicas de las colonias como tipo de crecimiento, textura, apariencia, producción de pigmentos y color del micelio.



Figura 5. Cultivo y aislamiento de los hongos.

2.4 Siembra de suelo del área recién cosechada en medio de cultivo con diferentes concentraciones de TECTO 60

Una vez que se verificó que el hongo presente en los tubérculos de papa afectados aparecía en el suelo del área recién cosechada, se procedió a sembrar muestras de suelo de esta área por el método de siembra directa en agar con diferentes concentraciones del fungicida TECTO 60 con la finalidad de evaluar la sobrevivencia de los hongos del género *Fusarium* ante la aplicación del fungicida. Para ello se procedió de la siguiente manera:

- a) Considerando que, en el área de estudio, el fungicida TECTO 60 es el que utilizan para combatir a *Fusarium* y, tomando como referencia que la concentración que aplican es de 1 litro del fungicida en 200 litros de agua por hectárea (0.5%) se prepararon concentraciones iguales, menores y al doble. Así mismo se determinó la cantidad de mililitros a utilizar del fungicida en 1 litro de agar para cubrir la superficie de la caja de Petri.
- b) Las concentraciones de TECTO 60 utilizadas fueron: al .25% para el cual se diluyeron 2.5g/L de agua, al .5% diluyendo 5g/L de agua, al 1% con una dilución de 10g/L de agua y al 2% con 20g/L de agua.
- c) Inmediatamente después de esterilizado el agar se colocaron 0.4 ml de las diferentes concentraciones preparadas de TECTO 60 en 1 litro de agar cada una.
- d) Posteriormente se colocó el agar con el TECTO 60 en las cajas de Petri y se agregó el suelo del área recién cosechada en cada uno de los tratamientos.

- e) Como testigo se colocó la muestra de suelo del área recién cosechada en la caja de Petri con agar sin aplicación del fungicida (Figura 6).
- f) Una vez realizada la siembra los cultivos fueron incubados a una temperatura de 23°C por aproximadamente 6 días hasta que aparecieron los hongos y fueron identificados.

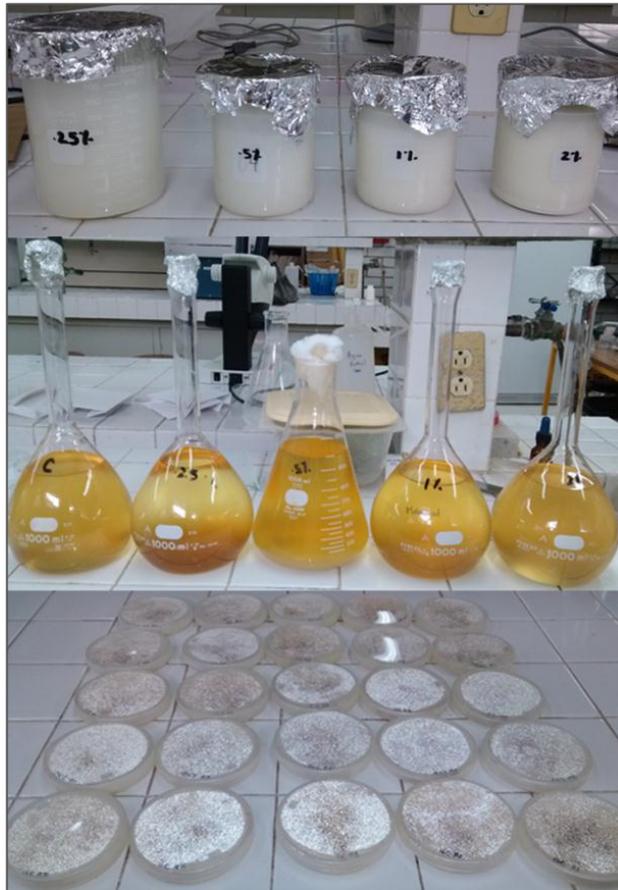


Figura 6. Cultivos con suelo del área recién cosechada en agar con TECTO 60.

2.5 Análisis estadísticos

Para clasificar las áreas con diferente tiempo de abandono, de pastizal natural y recién cosechada de acuerdo a su composición de especies se utilizó el índice de similitud de Sørensen ($ISs = 2W / (A + B) * 100$) (Muller-Dumbois y Ellenberg, 1974). Los índices fueron analizados utilizando análisis de conglomerados por medio de la clasificación jerárquica politética aglomerativa (Gauch, 1982; Manly, 1992) y el método de varianza mínima (Ward, 1963; SAS, 1985) utilizando el paquete estadístico MVSP 3.1. Para determinar la diversidad biológica de las áreas se utilizó el índice de diversidad de Simpson de acuerdo a Magurran y McGill (2011): $D_{Simpson} = 1 - D = \sum pi^2$.

3. Resultados y Discusión

De acuerdo a los síntomas visuales de los tubérculos de papa afectados, se determinó que la enfermedad corresponde a la pudrición seca de la papa o Fusariosis (Figura 7), reportada por diversos autores para el cultivo de papa (Castro y Contreras, 2011; Pérez y Forbes, 2011). Dicha enfermedad es producida por especies de *Fusarium*, lo cual coincidió con los resultados obtenidos del aislamiento del patógeno proveniente del material vegetal, en el cual fueron detectadas dos especies de hongos: *Fusarium oxysporum* y *Alternaria alternata* (Anexo 1). Los análisis de las muestras de suelo confirmaron, la presencia de la especie *Fusarium oxysporum* (Figura 8) así como otras dos especies de *Fusarium* (Anexo 3), detectándose en el área recién cosechada y en los sitios con 2, 3 y 7 años de descanso pero no así en el pastizal natural ni en el sitio con 12 años de descanso (Tabla 1), lo cual puede deberse a la persistencia de los fusarios en el

suelo por uno a varios años por la presencia de clamidosporas (Griffin, 1973). De acuerdo a Rodríguez (2001) la incorporación de residuos orgánicos al suelo puede favorecer el incremento de organismos antagónicos a los hongos fitopatógenos, lo que pudiera ser una buena estrategia de manejo para evitar los daños de estos hongos.

En total se identificaron 10 géneros y 20 especies de hongos en los diferentes sitios de estudio, de los cuales 9 géneros y 14 especies son considerados fitopatógenos. De acuerdo al índice de diversidad de especies de Simpson el sitio con mayor diversidad es el área recién cosechada seguida del pastizal natural y los sitios con 12, 2 y 3 años, y el que menor diversidad de especies de hongos presentó fue el sitio con 7 años de descanso (Tabla 1). Aun cuando los sitios con valores más altos fueron el área recién cosechada y el pastizal natural, el primero presentó un valor de 0.9531 mostrando una mayor abundancia de especies de hongos fitopatógenos, mientras que el pastizal natural mostró un índice de 0.8438, sin embargo es importante mencionar que los valores del índice de Simpson reflejan el grado de homogeneidad de especies y no únicamente el número de estas. En todos los sitios evaluados se detectó la presencia de los géneros *Rhizopus* y *Penicillium*. El área recién cosechada fue la que mayor número de especies presentó seguida del sitio con 2 años de descanso. En el área recién cosechada se identificaron 6 géneros y 10 especies mientras que en el área con 2 años de abandono 7 géneros y 8 especies. En ambos sitios se detectaron las especies *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger* y *Rhizopus stolonifer* (Anexo 4). En el área recién cosechada se detectaron 4 especies de *Penicillium*, una de *Cladosporium sp*, que fue registrada también en el sitio de 7 años y, a diferencia del resto de los sitios, se encontró *Alternaria sp* (Figura 9). El

sitio con 2 años de descanso, a diferencia del resto de los sitios, presentó los hongos *Curvularia lunata* y *Rhizophus sp* (Anexos 4 y 5). En el sitio con 3 años de descanso se detectaron 4 géneros y 5 especies, las cuales corresponden a *Rhizophus stolonifer*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium sp* y *Penicillium citrinum* (Anexos 7 y 8) y, a diferencia del resto de los sitios, este sitio presentó el hongo *Gliocladium videns* (Anexo 9). En el sitio de 7 años de descanso se presentaron 4 géneros y 5 especies. Se detectó además de la especie *Fusarium oxysporum* otra especie de *Fusarium* no identificada. El sitio con 12 años de descanso presentó 4 géneros y 5 especies, dentro de ellas *Rhizophus stolonifer* y *Penicillium sp*; al igual que en el de dos años se detectó la presencia de *Basidiomicetos spp* y *Acremonium spp* (Anexos 9 y 10). A diferencia del resto de los sitios presentó *Penicillium lanosum* (Anexo 11) y, coincidiendo únicamente con el pastizal natural, este sitio no presentó el género *Fusarium*. En el pastizal natural se identificaron 4 géneros y 4 especies dentro de las cuales, difiriendo del resto de los sitios, se encuentra *Aspergillus clavatus* y la especie *Alternaria alternata* (Anexos 5 y 6) siendo esta última otra de las especies que apareció en los tubérculos de papa analizados (Anexo 6), sin embargo, al no detectarse en el resto de los sitios, se descarta la posibilidad de que esta especie sea el agente causal de la enfermedad. Además del hecho de que un tejido vegetal joven y sano puede ser atacado o infectado únicamente por un parasito fuerte (Rodríguez, 2001), en este caso el género *Fusarium*. A diferencia de éste, la especie de *Alternaria alternata* se comporta como parásito de heridas o invade hospederos fisiológicamente o patológicamente debilitados (Álvarez, 1977).

El índice de Sorensen aplicado a los sitios de estudio, de acuerdo a la composición de especies de hongos registradas, generó tres grupos con una similitud de 50%: el grupo 1 del área recién cosechada, grupo 2 conformado por el pastizal natural y el grupo 3 que conjunta los sitios con 2, 3, 7 y 12 años de descanso (Figura 10). Se esperaba que el sitio de pastizal natural se agruparía con el de 12 años de descanso debido a la ausencia, en estos dos sitios, del género *Fusarium*; sin embargo, el más semejante a éste fue el área recién cosechada. La mitad de las especies (2) encontradas en el sitio de pastizal se encontraron también en el área recién cosechada.

La clasificación del área recién cosechada y la del pastizal natural en grupos individuales puede deberse a que, en ambas, la mitad de las especies que contienen fueron exclusivas de esas áreas (Tabla 1). Con respecto a los resultados obtenidos de la siembra de suelo del área recién cosechada en medio de cultivo con diferentes concentraciones de TECTO 60, en el cultivo testigo se confirma la presencia del hongo *Fusarium oxysporum*, presentándose además de en la concentración utilizada en el Ejido El Tokio del .5% en la concentración menor a esta (.25%) y en las dos concentraciones mayores (1 y 2%) (Anexos 12-16), lo cual indica que aun aplicando el triple de la concentración que normalmente utilizan en los cultivos de papa del área de estudio este hongo sigue apareciendo. Lo cual podría deberse a que la dosis aplicada no es la correcta o bien, que este hongo ha desarrollado resistencia a este fungicida, ya que de acuerdo a Rubio-Arreque *et al.*, (2008) uno de los problemas más graves que ocasiona el uso de fungicidas a nivel mundial es el desarrollo de resistencia en las poblaciones tratadas, encontrando en su investigación sobre la resistencia de *Fusarium oxysporum* y

Rhizoctonia solani a tres fungicidas que *F. oxysporum* presentó resistencia frente a Benzomyl 500 y a Rhizolex-T al crecer en una concentración aún mayor que la utilizada en campo. Así mismo, en su investigación cita a Novaes *et al.*, (2005) quienes encontraron a *Fusarium oxysporum* resistente frente a acibenzolar S-methyl y moderadamente resistente a carbendazim, azoxystrobin, tebuconazole. Por otro lado, Ayed *et al.*, (2006) al evaluar fungicidas para el control de *Fusarium* en papa, encontró que el fungicida quenoline fue menos eficiente que los otros fungicidas evaluados para el control del mismo.



Figura 7. Características macroscópicas de los tubérculos de papa afectados.

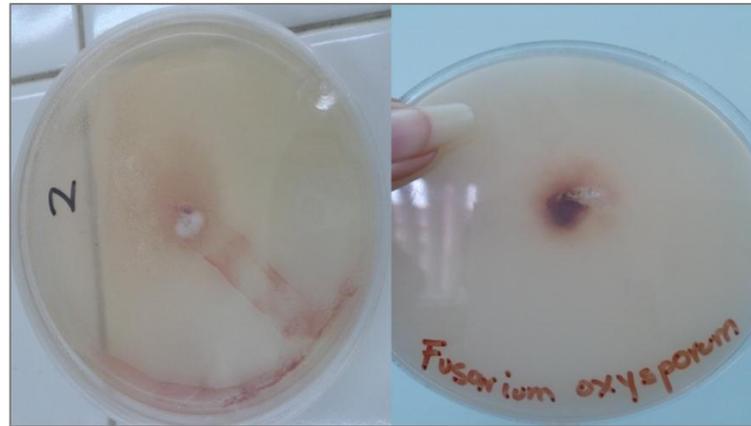


Figura 8. *Fusarium oxysporum* encontrado en los tubérculos de papa afectados y en suelo. A la izquierda en los tubérculos de papa y a la derecha en el área recién cosechada y las áreas con 2, 3 y 7 años de abandono.



Figura 9. Algunas especies encontradas en el área recién cosechada: a) *Penicillium sp2*, b) *Cladosporium sp*, c) *Penicillium sp*, d) *Aspergillus niger*, e) *Penicillium sp1*, f) *Fusarium sp1*, g) *Penicillium sp3*, h) *Alternaria sp* e i) *Rhizopus stolonifer* .

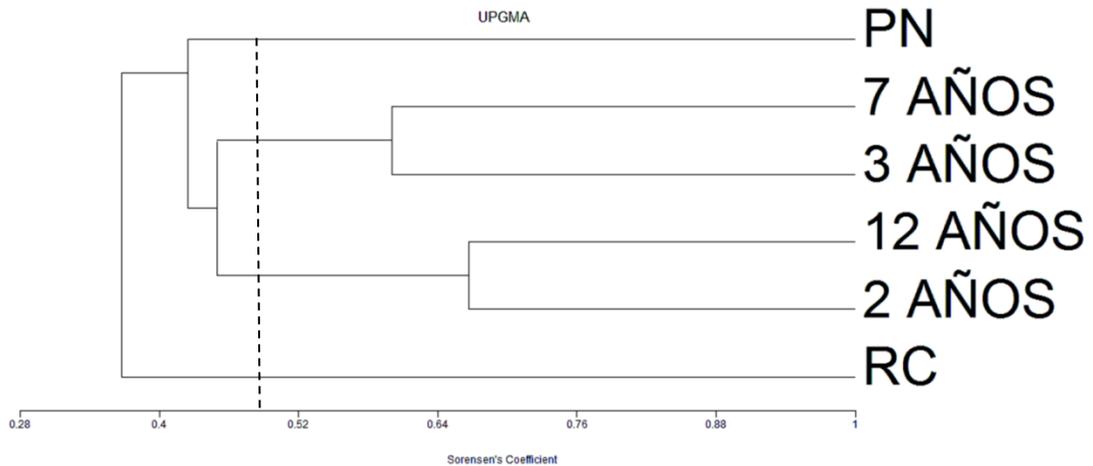


Figura 10. Dendrograma mostrando los grupos de las áreas evaluadas de acuerdo a su composición de especies.

Tabla 1. Géneros y especies encontradas en las diferentes áreas de estudio, su número de individuos (n=12), \pm desviación estándar e índice de Simpson.

Área	Género o especie		No. de individuos	Índice de diversidad de Simpson (D)
Pastizal Natural	4 géneros 4 especies	<i>Alternaria alternata</i>	1	0.8438
		<i>Aspergillus clavatus</i>	1	
		<i>Penicillium sp</i>	7	
		<i>Rhizophus stolonifer</i>	1	
	Total	10		
	Desviación estándar	3.00		
2 años	7 géneros 8 especies	<i>Acremonium sp</i>	3	0.7656
		<i>Aspergillus niger</i>	2	
		<i>Basidiomicetos sp</i>	2	
		<i>Curvularia lunana</i>	1	
		<i>Fusarium oxysporum</i>	2	
		<i>Penicillium sp</i>	1	
		<i>Rhizophus sp</i>	3	
		<i>Rhizophus stolonifer</i>	1	

		Total	15	
		Desviación estándar	0.83	
3 años	4 géneros	<i>Fusarium oxysporum</i>	2	0.7813
		<i>Gliocladium videns</i>	2	
		<i>Penicillium citrinum</i>	1	
		<i>Penicillium sp</i>	7	
	5 especies	<i>Rhizophus stolonifer</i>	2	
		Total	14	
		Desviación estándar	2.39	
7 años	4 géneros	<i>Cladospurium sp</i>	1	0.3906
		<i>Fusarium oxysporum</i>	1	
		<i>Fusarium sp</i>	1	
		<i>Penicillium sp</i>	34	
	5 especies	<i>Rhizophus stolonifer</i>	2	
		Total	39	
		Desviación estándar	14.65	
12 años	4 géneros	<i>Acremonium sp</i>	2	0.7969
		<i>Basidiomicetos sp</i>	4	
		<i>Penicillium lanosum</i>	3	
		<i>Penicillium sp</i>	2	
	5 especies	<i>Rhizophus stolonifer</i>	2	
		Total	13	
		Desviación estándar	4.32	
Recién cosechada	6 géneros	<i>Alternaria sp</i>	1	0.9531
		<i>Aspergillus niger</i>	1	
		<i>Cladospurium sp</i>	3	
		<i>Fusarium oxysporum</i>	6	
		<i>Fusarium sp1</i>	1	
		<i>Penicillium sp</i>	3	
	10 especies	<i>Penicillium sp1</i>	11	
		<i>Penicillium sp2</i>	6	
		<i>Penicillium sp3</i>	1	
		<i>Rhizophus stolonifer</i>	4	
		Total	37	
		Desviación estándar	3.23	

4. Conclusiones

Los resultados indican que la enfermedad que afectó al cultivo de papa corresponde a la pudrición seca o Fusariosis, causada por especies del género *Fusarium*. La presencia del género *Fusarium* en el área recién cosechada, así como en los sitios con 2, 3 y 7 años de descanso y la ausencia del mismo en los sitios con 12 años de descanso y el pastizal natural, indican que las especies de este género pueden persistir por más de 7 años en el suelo, por lo que si se sigue utilizando la estrategia de dejar descansar las áreas entre ciclos de cultivo, se tendría que considerar este resultado. Los resultados obtenidos mostraron también que la aplicación del fungicida TECTO 60, aún en concentraciones dos veces más altas que las utilizadas en campo en las áreas de estudio, no impidieron el desarrollo del hongo *Fusarium oxysporum* causante de la baja en la producción de papa.

A pesar de los múltiples estudios que reportan la incesante pérdida de la superficie ocupada por pastizales gipsófilos en el Altiplano del norte de México y de la importancia ecológica de éstos, no existen otros trabajos científicos dirigidos a solucionar esa problemática. Este es el primer estudio encaminado a disminuir la apertura de nuevas áreas para el cultivo de papa mediante una alternativa de manejo del cultivo que les permita seguir sembrando la superficie ya desmontada.

5. Literatura Citada

Álvarez, A. M., Hylin, J.W. and J. N., Ogata. 1977. Postharvest diseases of papaya reduced by biweekly orchard sprays. *Plant Dis. Rep.* 61:731-735.

Amezquita, C. E. Procesos físicos de degradación de suelos en Colombia. *Actualidades ICA (Colombia)* 6 (70): 1-21 1992.

Arriaga, L., Espinoza J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y E. Loa. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 609 p.

Ayed, F., Daami-Remadi, M., Jabnoun-Khiareddine, H., Hibar, K. and M. Mahjoub. 2006. Evaluation of Fungicides for control of *Fusarium* Wilt of potato. *Plant Pathology Journal* 5 (2): 239-246. ISSN 1812-5387.

Barnett, H. L. and B. Hunter. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Fourth Editio. APS PRESS. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota.

Castro, I. y A. Contreras. 2011. Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa. Imprenta Austral, Valdivia-Chile 72 páginas.

Domínguez, D., Otero, A., Ruiz, M., Márquez, E., y Y. Morejón. 2006. Causas y efectos de la degradación del suelo en un agrosistema dedicado al cultivo del tabaco. *CITMA, Ciencia y Tecnología y Medio Ambiente*. CIGET, Vol. 8 No. 4 octubre-diciembre 2006.

Domsch, K.H. and W. Gams. 1993. *Compendium of Soil Fungi*. Volume I. IHW-Verlag.

Traute-Heidi ANDERSON. Institute of Soil Biology. Federal Agriculture Research Centre Braunschweig. Federal Republic of Germany.

Estrada-Castillón, E., Scott-Morales, L., Villarreal-Quintanilla, J., Jurado-Ybarra, E., Coterá-Corre, M., Cantú-Ayala, C. y J. García-Pérez. 2010. Clasificación de los pastizales halófilos del noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81, 401- 416.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Instituto de Geografía*. UNAM. México, D. F. Tercera edición.

Griffin DM. 1973. *Ecology of Soil Fungi*. Chapman & Hall, Londres. pp. 57, 90, 135.

Lal, R J. 2000. Physical management of soils of tropics: Priorities for the 21 st century. *Soil Science*. 165:192-207.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1981. *Síntesis geográfica de Nuevo León*. México, D.F. 170 p.

Lal, R J. 2000. Physical management of soils of tropics: Priorities for the 21 st century. *Soil Science*. 165:192-207.

Magurran, A. and B. McGill. 2011. *Biological Diversity. Frontiers in Measurement and Assessment*. OXFORD BIOLOGY.

McCready, B., Mehlman, D., Kwan, D. and B. Abel. 2005. The Nature Conservancy's Prairie Wings Project: A Conservation Strategy for the Grassland Birds of the Western Great Plains. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191*, 1158-1161.

Mendoza, D. 2009. Effect of ground water. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. Vol 2(3): 255-259.

Michelena, R., Morrás, H., y C. Iruetia. 2008. Degradación física por agricultura continua de suelos franco-limosos de la provincia de Córdoba. INTA - CIRN; Instituto de Suelos. Argentina.

Moretti, A. 2009. Taxonomy of *Fusarium* genus, a continuous fight between lumpers and splitters. *Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad*, No. 117, 7-13. DOI:10.2298/ZMSPN0917007M.

Nielsen, NM; A Winding; S Binnerup; BM Hansen & N Kroer. 2002. Microorganisms as indicators of soil health. National Environmental Research Institute (NERI). Technical report No. 388. Oldeman LR, Hakkeling RTA and Sombroek WG. World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, the Netherlands, and Nairobi. United Nations Environment Programme (1992).

Novaes S., De Resende M. & P. Paiva. 2005. Efeito de diferentes fungicidas e de resistencia na inibicao do crescimento mivelial de *Fusarium oxyporum* f.p. gladioli e comparacao de metodologias de inoculacao em bulbos. *Summa phytopatológica*. 31(4): 371-373.

Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T. and Sombroek, W.G. 1992. World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation: An Explanatory Note. Wageningen: ISRIC.

Pérez, W. y G. Forbes (2011). Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina. Centro Internacional de la Papa (CIP). 44 pags.

Pérez, A. y C. Landeros. 2009. Agricultura y deterioro ambiental. Elementos 73. pp. 19 – 25.

Perry, R.N. 1996. Root diffuses and hatching factors. Aspect of Applied Biology 22:121-128.

Pronatura Noreste, A.C., The Nature Conservancy (compiladores), 2007. Plan de conservación de los pastizales del Altiplano Mexicano 2006 – 2010: Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas. Monterrey, N.L., México. 171.

Rodríguez, G. M. P. 2001. Biodiversidad de los hongos fitopatógenos del suelo de México. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie). Instituto de Ecología A.C. Número ES1. Xalapa, México.

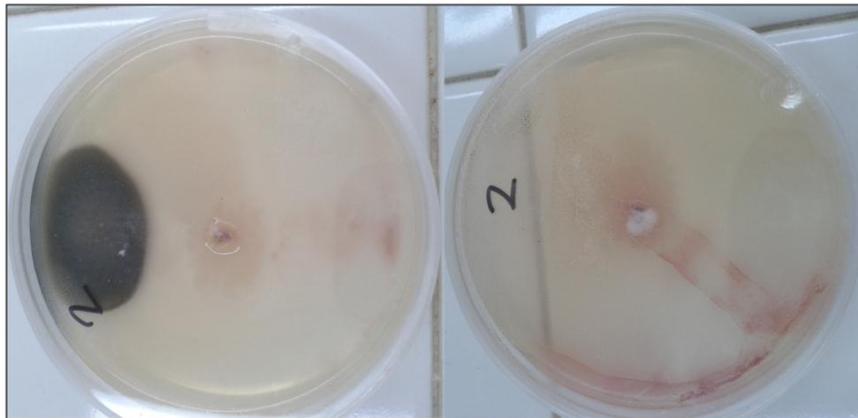
Rubio, O., Rangel, J. Flores, R., Magallanes, J., Díaz, C., Zavala, T., Rivera, A., Cadena, M., Rocha, R., Ortiz, C., López, H., Díaz, M. y A. Paredes. 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del Centro de México. INIFAP.

Rubio-Reque1, G., Baltodano-Sánchez, F., Abanto-Campos, I., Wilson-Krugg, J. y M. Muñoz-Ríos. 2008. Resistencia *in vitro* de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* a

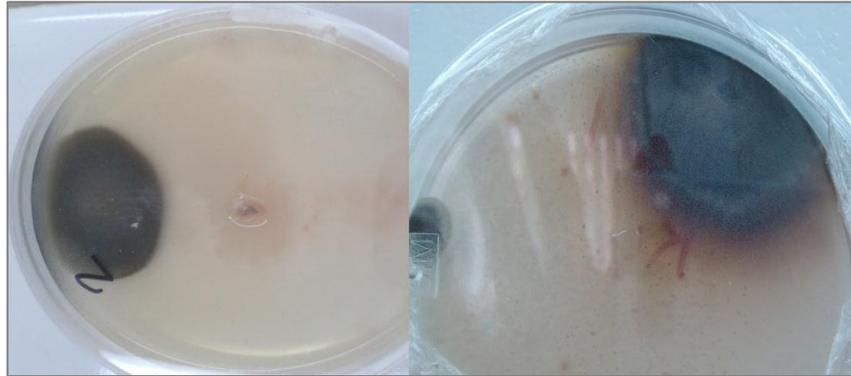
los fungicidas Benzomil 500, Rhizolex-T y Homai-WP. REBIOL. Vol. 28, N° 2: julio-diciembre.

Silva-Arredondo, F., Pando Moreno, M., González-Rodríguez, H. and L. Scott-Morales. 2013. Changes in the Chemical Properties of a Soil Impacted by Intensive Agriculture, North-eastern Mexico. International Journal of Bio-resource and Stress Management. 4(2):126-131.

6. Anexos



Anexo 1. Hongos encontrados en los tubérculos de papa afectados. A la izquierda la especie *Alternaria alternata* y a la derecha *Fusarium oxysporum*.



Anexo 2. *Alternaria alternata* encontrado en los tubérculos de papa afectados y en suelo.

A la izquierda en los tubérculos de papa y a la derecha en el pastizal natural.



Anexo 3. *Fusarium oxysporum* encontrado en las áreas de 2, 3 y 7 años de abandono y

área recién cosechada, *Fusarium sp* encontrado en el área de 7 años y *Fusarium sp 1*

encontrado en el área recién cosechada.



Anexo 4. Especies de *Rhizopus* encontradas en las diferentes áreas de estudio. A la izquierda *Rhizopus sp* y a la derecha *Rhizopus stolonifer*.



Anexo 5. *Aspergillus clavatus* y *Curvularia lunata* encontradas en el pastizal natural y el área con 2 años de descanso.



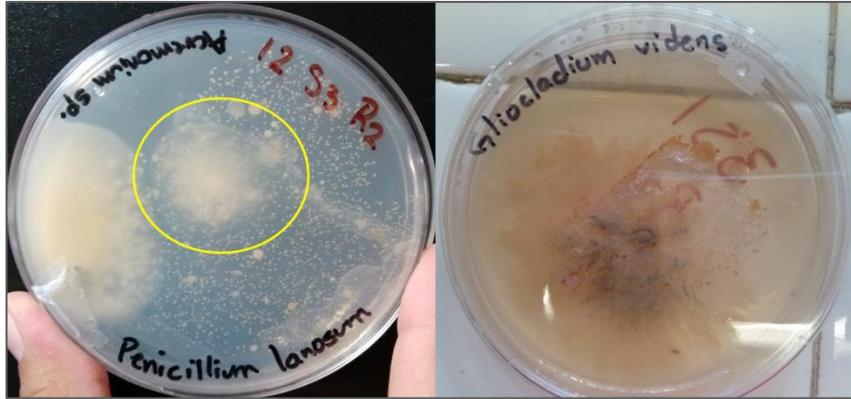
Anexo 6. Especie *Alternaria alternata* encontrada en el pastizal natural.



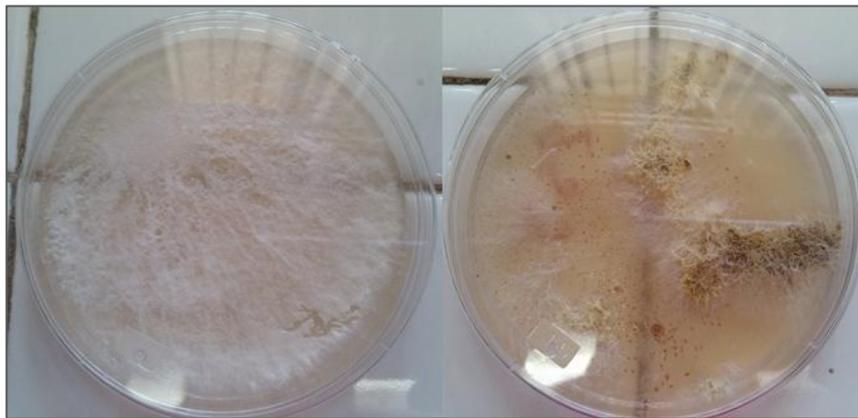
Anexo 7. *Penicillium sp* encontrado en algunas áreas de estudio.



Anexo 8. *Penicillium citrinum* encontrado en el área con 3 años de abandono.



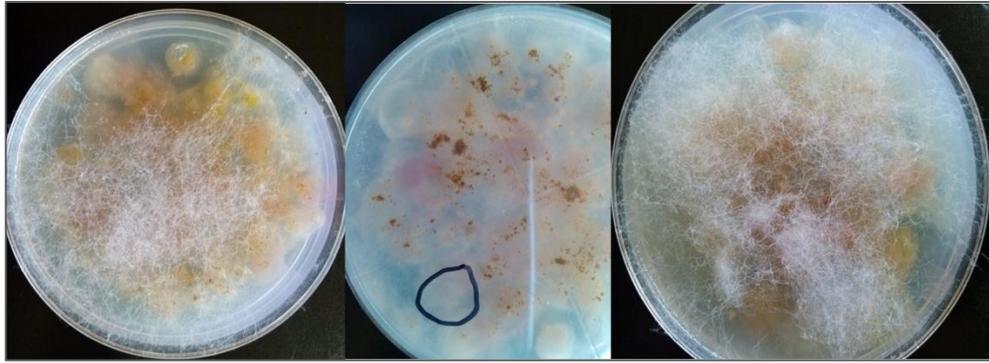
Anexo 9. *Acremonium sp* (círculo amarillo) y *Gliocladium vides* en los sitios con 12 y 3 años de descanso respectivamente.



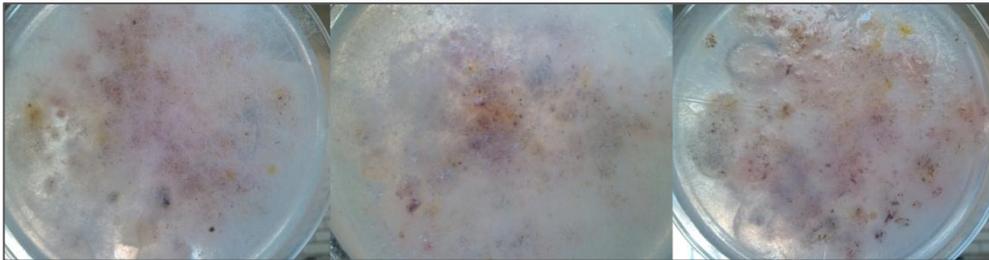
Anexo 10. *Basidiomicetes sp* encontrada en las áreas de 2 y 12 años de abandono.



Anexo 11. *Penicillium lanosum* encontrado en el área con 12 años de abandono.



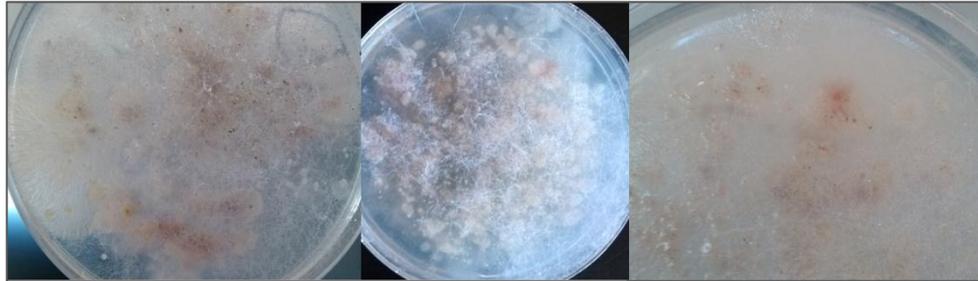
Anexo 12. Presencia del hongo *Fusarium oxysporum* en muestras de suelo del área recién cosechada en el grupo control.



Anexo 13. Presencia del hongo *Fusarium oxysporum* en muestras de suelo del área recién cosechada en la concentración de .25%.



Anexo 14. Presencia del hongo *Fusarium oxysporum* en muestras de suelo del área recién cosechada en la concentración de .5%.



Anexo 15. Presencia del hongo *Fusarium oxysporum* en muestras de suelo del área recién cosechada en la concentración de 1%.



Anexo 16. Presencia del hongo *Fusarium oxysporum* en muestras de suelo del área recién cosechada en la concentración de 2%.

CAPÍTULO V. Conclusiones Generales

Conclusiones

En esta investigación se evaluó el cambio en las propiedades físicas y químicas del suelo, incluida la presencia de algunos microorganismos fitopatógenos presentes después de un ciclo de cultivo de papa bajo manejo intensivo. La finalidad del estudio es, en última instancia, contar con información científica que permita mantener una producción estable del cultivo, año tras año en los mismos terrenos y con ello evitar que los productores de papa continúen abriendo nuevas áreas ocupadas con pastizales gipsófilos que constituyen un ecosistema de gran riqueza biológica. Dentro de los aspectos que se analizaron en esta investigación, se llegó a las siguientes conclusiones.

La evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo indican que el abandono de las áreas, después de un ciclo de cultivo de papa, no se debe al déficit de algún nutriente ya que, de acuerdo a los resultados presentados, existe una cantidad igual o mayor de los principales nutrientes del suelo, tras un ciclo intensivo de papa, debido a la alta cantidad de fertilizantes químicos que son aplicados en este cultivo. Algunos nutrientes, como es el caso del fósforo, magnesio, cobre y zinc, presentan concentraciones muy superiores a las del pastizal natural aún después de 10 años de abandono de las áreas. Así mismo los valores de pH, conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica se mantienen prácticamente iguales a través del tiempo de evaluación.

A excepción de la densidad aparente que resultó menor en el sitio con 10 años de abandono que en el pastizal natural, los valores de todas las demás propiedades no presentaron cambios estadísticamente significativos a través del tiempo en comparación con el pastizal natural. Sin embargo, en esta investigación se resalta la importancia de considerar, no solo las diferencias estadísticas, sino también la clasificación oficial de suelos en el análisis de resultados ya que dependiendo del parámetro, una diferencia de unas cuantas unidades puede tener implicaciones mayores en el manejo del suelo y viceversa. De acuerdo a dicha clasificación, la densidad aparente aún con diferencias estadísticas, se mantiene dentro del mismo rango de clasificación para todos los sitios estudiados, mientras que el Nt, P extraíble, Mg, Cu y Zn que no presentaron diferencias estadísticamente significativas tuvieron rangos más altos en los primeros dos años de descanso que el pastizal natural, empezando a decrecer a partir del quinto año de descanso acercándose sus valores al del sitio testigo.

Esto nos lleva a rechazar la primera hipótesis planteada en esta investigación, que supone que "El suelo se ve empobrecido en sus características físicas y químicas tras un ciclo de cultivo de papa" ya que los suelos se vieron enriquecidos en algunos de sus nutrientes y, en ninguno de ellos, se vieron empobrecidos. La segunda hipótesis se acepta dado que las propiedades de los suelos se acercaron a su condición original a través del tiempo de descanso, posterior a un ciclo de cultivo de papa.

Entre los tratamientos analizados: pastizal, área recién cosechada y áreas con 3, 7 y 12 años de descanso, la menor densidad de nematodos fitopatógenos se encontró en el área recién cosechada y en los sitios con 3 y 7 años de abandono, lo que indica que el

nematicida utilizado está controlando eficientemente a las poblaciones de nematodos, descartándose la posibilidad de que éstos sean la causa de la baja en la producción del cultivo de papa y por lo tanto del abandono de las áreas. Asimismo, se infiere la persistencia del Furacán en el suelo mínimamente por 7 años, afectando muy posiblemente tanto a las poblaciones de nematodos de vida libre como a las de enemigos naturales de los nematodos fitopatógenos presentes en el suelo, trayendo como consecuencia que al desaparecer estas especies otros organismos puedan llegar a convertirse en nuevas plagas.

En general, se puede observar que con el paso del tiempo, posterior a la aplicación del nematicida, los terrenos de cultivo tienden a tener mayor densidad de nematodos, mientras que en el pastizal natural se encontró una mayor densidad, debido posiblemente a una mayor diversidad de plantas.

La enfermedad presente en los tubérculos de papa en el área recién cosechada corresponde a la Pudrición seca o Fusariosis siendo su agente causal especies del género *Fusarium*. La detección de varias especies de *Fusarium*, en particular la especie *Fusarium oxysporum*, tanto en los tubérculos de papa como en el suelo de áreas abiertas a este cultivo, evidencian que dicho hongo fue el causante de la baja en la producción de papa en este ciclo.

La presencia del género *Fusarium* en el área recién cosechada y en los sitios con 2, 3 y 7 años de descanso y la ausencia del mismo en los sitios con 12 años de descanso y el pastizal natural indican que las especies de este género pueden persistir por más de 7

años en el suelo, por lo que si se sigue utilizando esta estrategia de dejar descansar las áreas entre ciclos de cultivo, se tendría que considerar este resultado.

La tercer hipótesis " Existe mayor presencia de fitopatógenos en áreas abiertas al cultivo de papa que en áreas de pastizal natural aledaño", se acepta para el caso de los hongos pero no así de los nematodos cuyas poblaciones fueron mayores en las áreas de pastizal natural que en las áreas utilizadas para el cultivo de papa.

La aplicación del fungicida TECTO 60, aún en concentraciones tres veces más altas que las utilizadas en campo en las áreas de estudio, no impidieron el desarrollo del hongo *Fusarium oxysporum* causante de la baja en la producción de papa, lo cual indica que probablemente el hongo ha desarrollado cierta resistencia al fungicida o bien, las concentraciones y la etapa en la cual la aplican no son las idóneas.

A pesar de los múltiples estudios que reportan la incesante pérdida de la superficie ocupada por pastizales gipsófilos en el Altiplano del norte de México y de la importancia ecológica de éstos, no existen otros trabajos científicos dirigidos a solucionar esa problemática. Este es el primer estudio encaminado a disminuir la apertura de nuevas áreas para el cultivo de papa mediante una alternativa de manejo del cultivo que les permita seguir sembrando la superficie ya desmontada.

Recomendaciones

Como una siguiente etapa de investigación, sería pertinente realizar pruebas para determinar el fungicida y la concentración que mejor funciona para controlar este hongo con las menores pérdidas en la producción del cultivo de papa o si existe algún método biológico que lo controle con mayor eficiencia, como pudiera ser la incorporación de materia orgánica al suelo ya que con ello se favorece la presencia y actividad de organismos antagónicos a los hongos fitopatógenos. También es recomendable que se considere un tratamiento post-cosecha debido a que las esporas de este género sobreviven en el suelo por varios años y al cultivar nuevamente se crean las condiciones ideales para su desarrollo; de esta manera quizás podría reducirse la cantidad de pesticidas aplicados y que éstos causaran menor impacto ambiental y económico.