



Universidad Autónoma Chapingo
Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

**Posgrado en Ciencias en Recursos Naturales
y Medio Ambiente en Zonas Áridas**



**“CARBONO ORGÁNICO EN TERRENOS AGRÍCOLAS
ABANDONADOS EN ZONAS ÁRIDAS”**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

Presenta:

ANNEL JUDITH CONTRERAS CISNEROS

Bajo la dirección de:

DR. RICARDO MATA GONZÁLEZ

Y co-dirección de:

DR. RICARDO TREJO CALZADA



APROBADA



Junio, 2020
Bermejillo, Durango, México



“CARBONO ORGÁNICO EN TERRENOS AGRÍCOLAS ABANDONADOS EN ZONAS ÁRIDAS”

Tesis realizada por **Ing. Annel Judith Contreras Cisneros** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS**

DIRECTOR:



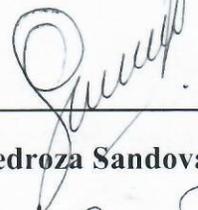
Dr. Ricardo Mata González

CO- DIRECTOR:



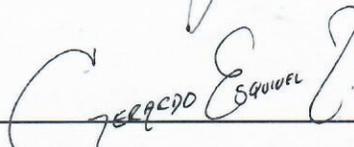
Dr. Ricardo Trejo Calzada

ASESOR:



Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

ASESOR:



M.C. Gerardo Esquivel Arriaga

RECONOCIMIENTOS

Se expresa un reconocimiento al apoyo y sustento otorgado para el desarrollo y término de la presente investigación y de mis estudios de posgrado:

Al Programa de Becas Nacionales de CONACyT 2018-2020

Al Programa de Becas de Movilidad en el Extranjero de CONACyT 2019-2020

Al Posgrado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas

A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo

A la Universidad Autónoma Chapingo

Al Department of Animal and Rangeland Sciences, Oregon State University, Corvallis, OR.

Para ti

AGRADECIMIENTOS

A Jehová Dios...

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas...

A mis directores de Tesis, Dr. Ricardo Mata González y Dr. Ricardo Trejo Calzada.

A mi comité asesor....

A mis profesores del programa de Posgrado...

Agradezco la dedicación, disponibilidad, apoyo y empatía por parte de Dr. Aurelio Pedroza, M.C. Gerardo Esquivel, M.C. Rosario Jacobo, Dr. Sánchez Cohen, M.C. David E. Prado Tarango, Mary Miranda, Anay Armendariz, Ing. Rolando Santillán, y al personal docente y administrativo de Chapingo.

A mis amigas y compañeras de generación... Ing. Aleida Gómez H., Ing. Carolina Vázquez C., Ing. Elena A. López C., Ing. Georgina Pérez ..., Biol. Irene Pacheco...

A quienes estuvieron involucrados en los trabajos de campo, en especial por su apoyo, esfuerzo y dedicación a M.C. José Antonio Chávez, Tec. Joel Burgueño A., Ing. José Luis Montes E., Ing. Neiry Manuel Alvarado Ruacho, Ing. Israel Martínez... Ing. Isaac Gramillo... Don Oviedo...

DATOS BIOGRÁFICOS

Annel Judith Contreras Cisneros **correo electrónico:** sakuannel.cc@gmail.com

Fecha de nacimiento: 10 de junio de 1992 **Nacionalidad:** mexicana

Educación

2018-2020: Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Durango, México.

2009-2014. Ingeniero en Sistemas Agrícolas. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Durango, México.

Experiencia Profesional

2017. Apoyo al centro estatal de control de incendios forestales del estado de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México.

2014-2015. Jefe de servicios. Apoyo en el centro informático de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México.

2014. Residencia profesional. Realizado en los Departamentos de Desarrollo Forestal y cadenas productivas en la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) de Nuevo León.

2013. Residencia preprofesional. Realizado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP) campo experimental Zacatecas, México.

CONTENIDO

TEMA	PÁGINA
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
CAPÍTULO I.....	1
Introducción General	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
Hipótesis.....	2
CAPITULO II.....	3
Revisión de Literatura.....	3
CAPÍTULO III.....	8
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio y caracterización climática	11
2.2 Investigación de campo y muestreo	11
2.3 Muestra vegetativa	12
2.4 Muestra edáfica	13
2.5 Análisis de laboratorio	13
2.6 Análisis estadístico y de información.....	14
3. RESULTADOS.....	15
3.1 Contenido de carbono en biomasa aérea.....	15

3.2	Riqueza de especies y densidad de individuos	16
3.3	Contenido de carbono orgánico en suelo	19
3.4	Contenido de Nitrógeno Total en suelo	21
4.	DISCUSION	22
4.1	Sucesión Ecológica	22
4.2	Contenido de carbono en biomasa aérea.....	23
4.3	Contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en suelo.....	23
5.	CONCLUSIONES	24
	LITERATURA CITADA	25

LISTA DE CUADROS

TÍTULO	PÁGINA
Tabla 1. <i>Concentración de carbono orgánico y nitrógeno total en especies vegetales.</i>	13
Tabla 2. <i>Media (\pmSE) de densidad de especies localizadas (individuos/ha) por tipo de estrato y edad de abandono (2, 15, 25 y 35 años) y en vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM).</i>	16
Tabla 3. <i>Propiedades de suelo de terrenos agrícolas con diferente edad de abandono (2, 15, 25 y 35 años) y vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM).</i>	19

LISTA DE FIGURAS

TÍTULO	PÁGINA
Figura 1. Contenido de carbono orgánico en biomasa aérea en estratos vegetales por edad de abandono (2, 15, 25 y 35 años) y vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM). (Factor de concentración de carbono orgánico: 0.4) ...	15
Figura 2. Coeficiente de similitud Sorensen de terrenos agrícolas de diferentes edades de abandono (2, 15, 25 y 35 años) con áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM).	19
Figura 3. Carbono orgánico en suelo (Mg C ha^{-1}) en las edades de abandono (2, 5, 15, 25, 35 años) y vegetación matorral (VM) por profundidades de muestreo (0-30 y 30-60 cm). Letras minúsculas iguales son estadísticamente similares (LSD, 0.05).....	20
Figura 4. Carbono orgánico en suelo (Mg C ha^{-1}) por edad de abandono (2, 5, 15, 25, 35 años) y vegetación matorral (VM) en 0-60 cm de profundidad. Letras minúsculas iguales son estadísticamente similares (LSD, 0.05). Los datos representan la media mostrando el error estándar basados en 150 muestras de suelo.	20
Figura 5. Nitrógeno total en suelo (Mg N ha^{-1}) en las edades de abandono (2, 5, 15, 25, 35 años) y vegetación matorral (VM) por profundidad de muestreo (0-30 y 30-60 cm). Letras minúsculas iguales son estadísticamente similares (LSD, 0.05).	21
Figura 6. Nitrógeno total en suelo (Mg N ha^{-1}) por edad de abandono (2, 5, 15, 25, 35 años) y vegetación matorral (VM), en 0-60 cm de profundidad. Los datos representan la media mostrando el error estándar basados en 150 muestras de suelo. Letras minúsculas iguales son estadísticamente similares (LSD, 0.05). ...	22

CAPÍTULO I

Introducción General

La mitigación del calentamiento global requiere la reducción de la cantidad de dióxido de carbono (CO₂), el principal gas de efecto invernadero (GEI) presente en la atmósfera. Las plantas juegan un papel fundamental para este propósito. Estas, por medio de la fotosíntesis, llevan a cabo una constante absorción y fijación de carbono. Además, contribuyen a mantener la temperatura óptima de la Tierra y previenen la erosión del suelo (Pragya, Sharma y Devnekar, 2017).

La vegetación natural puede autorregularse y proveer servicios ambientales como la captura de carbono. La autorregulación suele ser más tardada en ecosistemas frágiles como las zonas áridas y semiáridas (Chang *et al.*, 2017). Por otra parte, las tierras de cultivo que son abandonadas toman mucho tiempo (varias décadas o más) para recuperar su vegetación natural y en muchas ocasiones es posible que nunca vuelvan a recuperarla debido a la aparición de especies invasoras o malezas indeseables que son grandes competidores para la vegetación nativa (Yerena *et al.*, 2014).

La gestión de los recursos del suelo es el aspecto más relevante para recuperar la capacidad de autorregulación ecológica y guiar prácticas de restauración de áreas degradadas. Las acciones que incluye dicha gestión son el control de la degradación, la labranza, los sistemas de conservación y el manejo adecuado del pastoreo (Cuesta *et al.*, 2012). Zhao *et al.*, (2005) señalan que se puede ejercer una profunda influencia en el suelo y el medio ambiente debido al cambio en el uso del suelo. La complejidad de la composición de las especies de la comunidad, el carbono orgánico del suelo (COS), nitrógeno (N), y fósforo (P) tienden a incrementar gradualmente con el aumento del tiempo de abandono.

En particular, en la Región Lagunera ubicada en el norte de México cuando se dejó de cultivar algodón, se diversificaron los cultivos forrajeros y aumentó su superficie cultivada, sin embargo, por la falta principalmente de agua, se abandonaron posteriormente gran cantidad de terrenos agrícolas en esta región (Cerutti, M. 2008; Grammont, H. y Tejera,

G.H., 1996). Hoy en día es común observar una gran cantidad de terrenos agrícolas abandonados. Dada la importancia que tiene la degradación de suelo, y por los servicios ambientales que pueda brindar la vegetación presente en terrenos agrícolas abandonados es trascendente analizar el carbono orgánico en suelo y la biomasa vegetal, que evidencien su relevancia en zonas áridas y semiáridas de México debido a que estas zonas representan más de la mitad de la superficie nacional. Aunque la literatura es basta en investigaciones científicas acerca del carbono orgánico y la degradación de suelo, se dispone de muy poca información sobre este tema en el área semiárida del norte de México, además la información disponible es escasa sobre el efecto de abandono de terrenos agrícolas en zonas áridas y semiáridas en el carbono orgánico en suelo, por lo que en este estudio se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar el contenido de carbono orgánico y nitrógeno en terrenos agrícolas de zonas áridas con diferentes edades de abandono en comparación con áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo, que es el tipo de vegetación natural del área.

Objetivos específicos

1. Identificar el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en suelo para valorar el efecto del tiempo de abandono de terrenos agrícolas en comparación con áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo de zonas áridas.
2. Determinar el contenido de carbono orgánico en biomasa vegetal sucesional para evaluar el efecto del tiempo de abandono de terrenos agrícolas en comparación con áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo de zonas áridas.

Hipótesis

H1: La cantidad de carbono orgánico y nitrógeno en suelos aumenta en relación con el tiempo de abandono en los terrenos agrícolas.

CAPITULO II

Revisión de Literatura

En un ambiente semiárido, la recuperación de la vegetación y el suelo, después de las perturbaciones agrícolas, es lenta. Por esto se requiere mejorar las prácticas y ampliar el tiempo esperado de restauración dado el alto potencial que ofrecen los suelos post-agrícolas para la captura de carbono (Chang *et al.* 2017).

Por siglos se ha demostrado que los suelos cultivados disminuyen la cantidad de reservas de carbono en el suelo con relación a suelos de vegetación natural (Janzen et al., 2006). Esto sucede porque el principal objetivo agrícola es cosechar el producto de la fotosíntesis y en general, una fracción muy pequeña de la materia orgánica producida es incorporada al suelo, lo que significa una pérdida neta de carbono a través del tiempo (Janzen et al., 2006). Novara *et al.* (2017) demostraron que el abandono de tierras de cultivo puede ser benéfico para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Sus resultados mostraron que el abandono de los suelos de cultivo incrementó las reservas de carbono orgánico del suelo en relación con los terrenos agrícolas, lo que permitió el cálculo de los pagos por servicios ecosistémicos (PSE). Sin embargo, el abandono de tierras de cultivo solo puede ser positivo en términos de acumulación de carbono si la sucesión vegetal que sigue al abandono conduce a la restauración de la vegetación natural (Zhao et al., 2005). Las tierras de cultivo que son abandonadas toman mucho tiempo (varias décadas o más) para recuperar su vegetación natural y en muchas ocasiones es posible que nunca vuelvan a recuperarla debido a la aparición de especies invasoras o malezas indeseables que son grandes competidores para la vegetación nativa (Yerena *et al.*, 2014).

La restauración del suelo para un ecosistema degradado puede tomar un largo período de tiempo. La calidad de los suelos adquiere relevancia en la seguridad alimentaria y en los impactos ambientales, como el cambio climático (Cotler, Martínez y Etchevers, 2016). La gestión de los recursos del suelo es el aspecto más relevante para recuperar la capacidad de autorregulación ecológica y guiar prácticas de restauración de áreas degradadas. Las acciones que incluye dicha gestión son el control de la degradación, la

labranza, los sistemas de conservación y el manejo adecuado del pastoreo (Cuesta *et al.*, 2012).

Existen diversos estudios sobre el almacenamiento del carbono orgánico realizados en diferentes tipos de suelo y condiciones climáticas, donde reportan concentraciones de carbono para sus componentes y vegetación presente en tierras de cultivo abandonadas. Campbell *et al.* (2013) mencionan que la bioenergía de las tierras de cultivo abandonadas puede satisfacer la mayoría de las necesidades de almacenamiento estacional para una variedad de escenarios de producción de energía, regiones y estimaciones de rendimiento de biomasa. Yang *et al.* (2015) seleccionaron 5, 10 y 20 años de tierras de restauración para examinar el efecto de los pastizales artificiales los cuales aumentaron marcadamente la biomasa, la cobertura del dosel y el contenido de carbono del suelo, pero disminuyeron la densidad aparente y el contenido de agua del suelo.

Zhao *et al.*, 2005 señalan que la complejidad de la composición de las especies de la comunidad, el carbono orgánico, el nitrógeno y el fósforo del suelo tienden a aumentar gradualmente con el aumento del tiempo de abandono. En este estudio las concentraciones de carbono y N en el suelo no alcanzaron a recuperarse aun después de 50 años de sucesión vegetal después del abandono de terrenos agrícolas en China. De Baets *et al.* (2013) demostraron que el carbono (C) se acumula rápidamente durante los primeros 10-50 años posteriores al abandono tendiendo al equilibrio, y se encuentra influenciado por la topografía. Cuando se abandonan las zonas de erosión demostraron un mayor potencial para aumentar sus reservas de carbono.

Deng *et al.* (2016) demostraron que tanto la edad como los tipos de cambio de uso de la tierra tienen un efecto significativo en C y N retenidos a una profundidad de suelo de 1 m en la transición de bosque a pradera en el centro de la meseta de Loess, China. En el mismo sitio, Wertebach *et al.* (2017) obtuvieron resultados con una tendencia a la saturación del carbono en tierras abandonadas ya que las tasas de secuestro fueron mucho más altas para los abandonados recientemente (1-10 años, 1.04 Mg C ha⁻¹ año⁻¹) en comparación con los campos de cultivo abandonados anteriormente (11-20 años, 0.26 Mg C ha⁻¹ año⁻¹).

Por otra parte, López *et al.*, (2017) determinaron el carbono en 40 sitios con diferentes usos de suelo a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) durante un año, el COS total fue de $9,67 \times 10^5$ t, de lo cual el 40% se almacenó en pasturas inducidas, seguido por el bosque de robles rojos con vegetación secundaria de arbustos, agricultura de secano y asentamientos humanos (24%, 23% y 13%, respectivamente); notándose cómo la proximidad de la ciudad impacta al COS.

Balbontín *et al.*, (2009) mencionan que los valores de carbono orgánico del suelo se distribuyen en un gradiente norte-sur, con los valores más bajos registrados en el norte de México (zonas áridas de suelos delgados) que pueden llegar en algunos casos a menos de 5 Mg C ha^{-1} , a mayores en el sur por encima de 300 Mg C ha^{-1} , siendo el valor promedio de $68.45 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

Recuperar el estado inicial del matorral primario en México tomará muchos años. Yerena *et al.* (2014), estimaron el contenido de carbono en el matorral espinoso tamaulipeco y en tres pastizales abandonados con un tiempo de abandono de 10, 20 y 30 años, el sistema de pastizal alcanzó solo un 56% de lo que se tenía en reservas del matorral primario en un período de 30 años, y recalcan considerar también el costo-beneficio de la sucesión natural (cero costos económicos) en comparación de la implementación de acciones de restauración ecológica.

Literatura Citada

- Balbontín, C., Cruz, C., Paz, F., y Etchevers, J. (2009). Soil carbon sequestration in different ecoregions of Mexico. In R. L. a. R. F. F. (Co-editors) (Ed.), Soil carbon sequestration and the greenhouse effect (Second ed., pp. 71-96).
- Campbell, J. E., Lobell, D. B., Genova, R. C., Zumkehr, A., y Field, C. B. (2013). Seasonal energy storage using bioenergy production from abandoned croplands. *Environmental Research Letters*, 8(3), 035012. doi: 10.1088/1748-9326/8/3/035012
- Cerutti, M. (2019). Crisis y reconversión del tejido productivo en un espacio regional del norte de México: La Laguna (1875–1975). *Investigaciones de Historia Económica*, 4(10), 97-128. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S1698-6989\(08\)70138-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1698-6989(08)70138-3)

- Cuesta, B., Rey Benayas, J. M., Gallardo, A., Villar-Salvador, P., y González-Espinosa, M. (2012). Soil chemical properties in abandoned Mediterranean cropland after succession and oak reforestation. *Acta Oecologica*, 38, 58-65. doi: 10.1016/j.actao.2011.09.004
- Chang, X., Chai, Q., Wu, G., Zhu, Y., Li, Z., Yang, Y., y Wang, G. (2017). Soil Organic Carbon Accumulation in Abandoned Croplands on the Loess Plateau. *Land Degradation y Development*, 28(5), 1519-1527. doi: 10.1002/ldr.2679
- De Baets, S., Meersmans, J., Vanacker, V., Quine, T. A., y Van Oost, K. (2013). Spatial variability and change in soil organic carbon stocks in response to recovery following land abandonment and erosion in mountainous drylands. *Soil Use and Management*, 29(1), 65-76. doi: 10.1111/sum.12017
- Grammont, H. y Tejera G.H. (1996). La sociedad rural mexicana frente al nuevo milenio: Los nuevos actores sociales y los procesos políticos en el campo. Vol. IV. ISBN: 968-856-438-9
- Janzen, H.H., (2006). The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), pp.419-424.
- López Teloxa, L. C., Cruz Montalvo, A., Tamaríz Flores, J. V., Pérez Avilés, R., Torres, E., y Castelán Vega, R. (2017). Short-temporal variation of soil organic carbon in different land use systems in the Ramsar site 2027 'Presa Manuel Ávila Camacho' Puebla. *Journal of Earth System Science*, 126(7), 1-11. doi: 10.1007/s12040-017-0881-4
- Novara, A., Gristina, L., Sala, G., Galati, A., Crescimanno, M., Cerda, A., . . . La Mantia, T. (2017). Agricultural land abandonment in Mediterranean environment provides ecosystem services via soil carbon sequestration. *Sci Total Environ*, 576, 420-429. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.123
- Pragya, N., Sharma, N., y Devnekar, A. E. (2017). Estimation of carbon emissions/savings incurred by wasteland and abandoned cropland-conversion from plantation of biofuel producing perennial tree species - Case study of India. *Global Ecology and Conservation*, 11, 158-164. doi: 10.1016/j.gecco.2017.06.002

- Vázquez M., J., Ríos F., J.L., Ruiz T., J., Sepúlveda B., M. (2007). Evolución de la productividad económica relativa de los principales cultivos en la Comarca Lagunera, México 1978-1999. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6, 109-115.
- Wertebach, T. M., Holzel, N., Kampf, I., Yurtaev, A., Tupitsin, S., Kiehl, K., . . . Kleinebecker, T. (2017). Soil carbon sequestration due to post-Soviet cropland abandonment: estimates from a large-scale soil organic carbon field inventory. *Glob Chang Biol*, 23(9), 3729-3741. doi: 10.1111/gcb.13650
- Yang, Z., Hao, H. M., Wang, D., Chang, X. F., Zhu, Y. J., y Wu, G. L. (2015). Revegetation of artificial grassland improve soil organic and inorganic carbon and water of abandoned mine. *Journal of soil science and plant nutrition*(ahead), 0-0. doi: 10.4067/s0718-95162015005000032
- Yerena Yamallel, J. I., Jiménez Pérez, J., Alanis Rodríguez, E., Aguirre Calderón, O. A., González Tagle, M. A., y Treviño Garza, E. J. (2014). Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del Noreste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, 113-121.
- Zhao, W. Z., Xiao, H. L., Liu, Z. M., y Li, J. (2005). Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. *Catena*, 59(2), 173-186. doi: 10.1016/j.catena.2004.06.004

CAPÍTULO III

Efecto del tiempo de abandono de terrenos agrícolas en las reservas de carbono orgánico y nitrógeno total en zonas áridas ¹

RESUMEN

La degradación de suelo induce el abandono de terrenos agrícolas debido a bajos rendimientos y a la escasez hídrica, originando frecuentemente una desertificación severa. En la Región Lagunera, ubicada al Norte de México, cuando se diversificaron los cultivos forrajeros aumentó la superficie cultivada, pero también por falta de agua, el abandono de terrenos agrícolas se ha agudizado. El objetivo del estudio fue determinar el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en suelo y la biomasa sucesional en terrenos agrícolas de zonas áridas abandonados en contraste con áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo. Se seleccionaron 4 edades de abandono (2, 15, 25, 35 años) y como referencia se emplearon áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM) que no han sido cultivados. Se tomaron 150 muestras de suelo a dos profundidades. Se utilizó un cuadrante 100 m² en cada repetición y se registró la biomasa presente, asimismo, se registró la riqueza y densidad de especies vegetales. El suelo con 35 años de abandono mostró mayor contenido de carbono orgánico en biomasa aérea con 8.0 Mg·C·ha⁻¹ que las áreas con vegetación natural arbustiva de matorral desértico micrófilo 2.85 Mg·C·ha⁻¹. Se identificaron un total de 39 especies vegetales. El número de especies por edad de abandono fue de 24, 19, 23, 21 y 22 especies para las edades de 2, 15, 25, 35 años y VM, respectivamente. El contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en suelo no mostró diferencias significativas entre las profundidades de muestreo. El suelo con 2 años de abandono mostró los mayores contenidos de carbono orgánico en suelo con 130.92 Mg·C·ha⁻¹ y nitrógeno total en suelo con 2.6 Mg·N·ha⁻¹. En el área de estudio fue claro que la sucesión ecológica después de 35 años de abandono de terrenos agrícolas dominó la especie *Prosopis glandulosa*.

Palabras clave: biomasa aérea, sucesión ecológica, matorral desértico, restauración.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Posgrado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Annel Judith Contreras Cisneros
Director de Tesis: Dr. Ricardo Mata González

Effect of time of abandonment of agricultural lands in the stocks of organic carbon and total nitrogen in arid areas²

ABSTRACT

Soil degradation due to low yields and water shortage is a reason for agricultural land abandonment, which often causes stern desertification. In the Lagunera Region, located in northern Mexico, when forage crops diversified, the cultivated area expanded, but also due to the lack of water, the abandonment of agricultural land increased. The objective of the study was to determine the content of organic carbon and total nitrogen in soil and the ecological succession of abandoned arid zones agricultural lands in contrast to areas of natural vegetation (microphyllous desert shrub). Four abandonment ages (2, 15, 25, 35 years) were selected and areas of natural microphyllous desert shrub (VM) that have not been cultivated were used as a reference. 150 soil samples were taken at two depths. A 100 m² quadrat was used in each repetition, the biomass present was recorded, as well as the richness and density of plant species. The soil with of 35 years of abandonment showed a higher organic carbon content in the aboveground biomass with 8.0 Mg·C·ha⁻¹ than the microphyllous desert scrubland areas 2.85 Mg·C·ha⁻¹. A total of 39 plant species were identified. The number of species by age of abandonment was 24, 19, 23, 21 and 22 species for 2, 15, 25, 35 years and VM, respectively. The soil organic carbon and total nitrogen content did not show significant differences between the sampling depths. The 2-year abandonment soil showed the highest organic carbon content with 130.92 Mg·C·ha⁻¹ and total nitrogen content of 2.6 Mg·N·ha⁻¹. It was clear that in the study area the ecological succession after 35 years of abandonment of agricultural land has resulted in the dominance of *P. glandulosa*.

Key words: aboveground biomass, ecological succession, desert scrub, restoration.

²Thesis Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Posgrado en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Annel Judith Contreras Cisneros

Advisor: Dr. Ricardo Mata González

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios en el uso del suelo son responsables del 12.5% de las emisiones antropogénicas y se espera que sigan siendo la segunda contribución más grande a las emisiones globales de efecto invernadero (Houghton *et al.*, 2012). La desertificación de los suelos además de reducir la sostenibilidad de los sistemas agrícolas también contribuye al deterioro de los ecosistemas locales y externos. Al ocurrir la degradación de suelos, las tierras son abandonadas debido a bajos rendimientos obtenidos de diversos cultivos agrícolas (Zhao *et al.*, 2005), a la escasez del recurso hídrico, siendo la desertificación severa (Kosmas, Gerontidis, y Marathianou, 2000) y el uso inapropiado de la tierra (Hamerlynck, Scott, y Stone, 2012) la razón principal de su abandono

El abandono de las tierras agrícolas puede promover incrementos en las reservas de carbono del suelo con respecto a las condiciones de terrenos agrícolas (Chang *et al.* 2017). En un ambiente semiárido, con una gestión de campo adecuada, los suelos post-agrícolas tienen potencial para la captura de carbono (Deng, Wang, Liu y Shangguan, 2016). El carbono orgánico en suelo (COS) se puede incrementar de manera considerable por medio de prácticas de agricultura de conservación y diversos sistemas de producción tradicionales (Cotler *et al.*, 2016).

La capacidad de los ecosistemas para almacenar carbono en forma de biomasa varía en respuesta a la diversidad de plantas y las especies dominantes, la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal y su dinámica sucesional (Selecky *et al.*, 2017). La gestión de las tierras de cultivo abandonadas depende de una mejor comprensión de sus secuencias de sucesión (van der Merwe y van Rooyen, 2011). Esclarecer la dinámica de Nitrógeno en los suelos tiene implicaciones importantes tanto para la gestión sostenible de los recursos de tierras regionales, como para las predicciones de los futuros ciclos de Carbono (C) y Nitrógeno (N) en todo el mundo (Deng *et al.*, 2016).

En la Región Lagunera, ubicada al Norte de México, una vez que aumentaron los cultivos forrajeros se abandonaron gran cantidad de terrenos agrícolas, en parte por falta de agua. Hoy en día es común observar una alta proporción de abandono de terrenos agrícolas. Dada la importancia que tiene la degradación del suelo en terrenos agrícolas abandonados es trascendente analizar el carbono orgánico en suelo y la biomasa vegetal.

Asimismo, es relevante evidenciar los servicios ambientales que pueda brindar la vegetación presente en zonas áridas y semiáridas de México debido a que estas zonas representan más del 60% de la superficie nacional. Se dispone de escasa información disponible de investigaciones científicas acerca del carbono orgánico y la degradación de suelo, en el área semiárida del norte de México, por lo que el objetivo de este estudio fue determinar el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en suelo y la biomasa sucesional en terrenos agrícolas de zonas áridas con diferentes edades de abandono en contraste con áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio y caracterización climática

El estudio fue llevado a cabo en el ejido de Bermejillo, Mapimí, en el estado de Durango, México. El área de estudio se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas entre los paralelos 25° 53' 42" y 25° 51' 18" de LN y los meridianos 103° 40' 12" y 103° 36' 36" de LW y a una altitud de 1,119 metros sobre el nivel del mar.

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificada por García (2004), el clima del área pertenece a un tipo BWhw (e), el cual se interpreta como muy árido, semicálido con lluvias en verano y de amplitud térmica extremosa. La precipitación promedio anual es de 250 mm, siendo los meses de julio y agosto los más lluviosos con 36.1 y 39.7 mm, respectivamente.

2.2 Investigación de campo y muestreo

Se contactaron propietarios ejidales locales para la identificación de las parcelas de cultivo, su tiempo de abandono e información complementaria. Se realizó una geolocalización de los terrenos agrícolas abandonados con apoyo de un GPS portátil

Gramin eTrex® y sistemas de información geográfica (SIG) como Google Earth Pro (2019). Se seleccionaron 3 parcelas agrícolas representativas para cada una de las edades de abandono 2, 15, 25, 35 años y como referencia se emplearon áreas naturales de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM).

La selección de los sitios abandonados estuvo limitada necesariamente por la disponibilidad de información confiable por parte de los propietarios ejidales sobre el historial de uso de la tierra y las mismas condiciones ambientales. Las parcelas seleccionadas son tierras planas, de similares propiedades edáficas y visiblemente poseen aspectos semejantes por edad. Todas las parcelas antes cultivadas tuvieron un manejo similar de cultivos y suelos, y donde se producían algodón y sorgo escobero y, ocasionalmente, maíz y frijol. Las áreas de referencia se seleccionaron con las menores perturbaciones visibles en relación con el sobrepastoreo y extracción de leña.

2.3 Muestra vegetativa

Las muestras de biomasa se tomaron utilizando un cuadrante de 10x10m (100 m²) en cada parcela. Todas las plantas vasculares vivientes se clasificaron en tres grupos funcionales de plantas: herbáceas, arbustivas y arbóreas. Las muestras vegetales arbóreas se dejaron secar a la intemperie hasta peso constante, mientras que las muestras vegetales herbáceas y arbustivas fueron llevadas a secado en estufa a 60° C durante 24 horas.

Para obtener carbono orgánico en biomasa, el valor de biomasa aérea (peso seco en kilogramos) fueron calculados con un factor 0.4 de concentración de carbono (%) obtenido con un analizador elemental TOC-L Shimadzu, para carbono orgánico y con Microkejdal para nitrógeno total en el que se tomaron tres muestras de cuatro especies vegetales representativas.

Tabla 1.

Concentración de carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (NT) en especies vegetales seleccionadas.

Especies seleccionadas	CO (%)	NT (%)
<i>Prosopis glandulosa</i>	52.243	1.043
<i>Larrea tridentata</i>	35.360	0.903
<i>Sphaeralcea angustifolia</i>	29.943	0.950
<i>Cynodon dactylon</i>	42.660	0.717
Media	40.052	0.903

Por otra parte, se registró la riqueza de especies vegetales y densidad de individuos de cada parcela en 4 líneas separadas entre sí por 10 metros en un cuadrante de 1m² por el método de línea de Intercepción de Canfield modificado por Cox (1972) con intervalos de 10m entre cada cuadrante.

2.4 Muestra edáfica

Para el muestreo de suelo, en cada repetición se realizó un transecto en forma de zigzag y con una barrena se tomaron 5 muestras de suelo a profundidades de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm por parcela, obteniéndose 75 muestras de suelo por profundidad. Se guardaron 100 gramos de muestra edáfica en bolsas de plástico resellables debidamente etiquetadas para determinación de carbono orgánico y nitrógeno total. Se tomó 1 núcleo de suelo de cada parcela con ayuda de una barrena colocándose en cilindros de acero inoxidable de 100 cm³, para determinación de densidad aparente. Y se tomaron 5 muestras para formar una muestra compuesta para determinar textura del suelo de cada parcela.

2.5 Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo secadas al aire se tamizaron a 0.25 mm. Para la determinación de COS, la combustión de la muestra se realizó a través de un analizador elemental TOC-L Shimadzu® en el Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal (LANISAF) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). La determinación de nitrógeno total se realizó a través del Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos de la UACH del, por medio de la técnica de Microkejdal. El tamaño de partículas se realizó en el laboratorio de URUZA Chapingo, por medio de Bouyucos (NOM-021-RECNAT-2000).

2.6 Análisis estadístico y de información

Se empleó el software estadístico R (Core Team, R., 2019) para realizar análisis de varianza ANOVA ($P \leq 0.05$) para determinar si existen efectos significativos entre las dos profundidades y entre edades de abandono en el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total, cuando resultó significativo se procedió a realizar análisis de comparación de medias a través de la prueba de diferencia mínima significativa (LSD, $P \leq 0.05$).

Se determinó la similitud entre las comunidades vegetales en cada sitio de abandono y las áreas naturales de vegetación de referencia (vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo) utilizando el coeficiente de similitud (SC) de Sorensen (Arroyo *et al.*, 1999), calculado como $SC = 2x / (a + b)$, donde se tomó a x como el número de especies encontradas tanto en el área de referencia como en un determinado lugar de abandono, a el número total de especies encontradas en el área de referencia, y b es el número total de especies encontradas en un sitio de abandono dado.

3. RESULTADOS

3.1 Contenido de carbono en biomasa aérea

En las áreas con vegetación de referencia (vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo: VM), con un total de 2.85 Mg·C·ha⁻¹, la mayor reserva de carbono en biomasa se encuentra en el estrato arbóreo con 1.84 Mg·C·ha⁻¹ seguido del arbustivo con 1.0 Mg·C·ha⁻¹. En el área de estudio, el estrato arbóreo está representado solo por una especie, *Prosopis glandulosa* (Tabla 2). El suelo de dos años de abandono muestra nulo contenido de carbono en biomasa arbórea y arbustiva, mientras que en el estrato herbáceo se muestra un contenido de carbono orgánico en biomasa de 2.12 Mg·C·ha⁻¹. En el suelo de 15 años de abandono con un total de 2.51 Mg·C·ha⁻¹ se observa una presencia mayor del estrato arbustivo con 0.20 Mg·C·ha⁻¹ que en las demás edades de abandono. Con 5.02 Mg·C·ha⁻¹ el suelo con 25 años de abandono muestra contenidos de carbono orgánico en el estrato arbóreo y herbáceo con 4.65 y 0.37 Mg·C·ha⁻¹. El suelo que mostró mayor contenido de carbono orgánico en biomasa con 8.0 Mg·C·ha⁻¹ fue el de 35 años de abandono observándose la presencia arbórea con 7.73 Mg·C·ha⁻¹ (Figura 1).

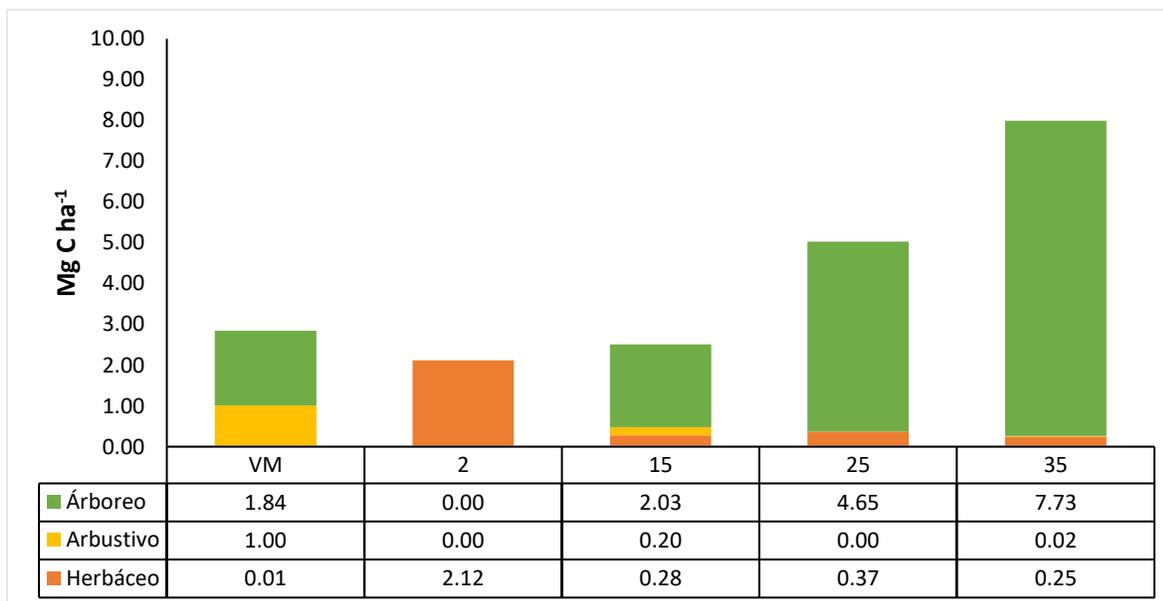


Figura 1. Contenido de carbono orgánico en biomasa aérea en estratos vegetales por edad de abandono (2, 15, 25 y 35 años) y vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM). (Factor de concentración de carbono orgánico: 0.4)

3.2 Riqueza de especies y densidad de individuos

Se identificaron un total de 39 especies vegetales localizadas en las parcelas agrícolas con diferentes edades de abandono y en las áreas de vegetación de referencia (VM) (Tabla 2). En las edades de abandono (2, 15, 25 y 35 años) se encontraron 24, 19, 23 y 21 especies vegetales, respectivamente, mientras que se encontraron 22 especies en las áreas de vegetación de referencia (Tabla 2).

Tabla 2.

Media (±SE) de densidad de especies localizadas (individuos/ha) por tipo de estrato y edad de abandono (2, 15, 25 y 35 años) y en vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM).

Especie	Tipo	2	15	25	35	VM
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	A		16 (2.6)	26 (9.7)	24 (13.7)	12 (4.1)
<i>Castela erecta</i> Turp.	B	0.3 (0.3)	1 (0.8)		0.3 (0.3)	0.3 (0.3)
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i> (DC.) Knuth	B			0.3 (0.3)	0.3 (0.3)	2 (1.5)
<i>Flourensia cernua</i> DC.	B					2 (2.6)
<i>Larrea tridentata</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Coville	B	2 (2.0)	2 (2.3)	0.6 (0.6)	6 (5.1)	18 (4.0)
<i>Lippia berlandieri</i> Torr.	B				0.3 (0.3)	0.3 (0.3)
<i>Echinocactus horizonthalonius</i> Lem.	C				0.3 (0.3)	
<i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto	C					0.3 (0.3)
<i>Mammillaria pottsii</i> Scheer ex Salm-Dyck	C					2 (2.3)
<i>Opuntia macrocentra</i> Engelm.	C			0.6 (0.6)	0.3 (0.3)	0.3 (0.3)
<i>Opuntia microdasys</i> (Lehm.) Pfeiff.	C					1 (0.8)
<i>Opuntia rufida</i> Engelm.	C					0.6 (0.6)
<i>Allionia incarnata</i> L.	D *	33 (28.6)	18 (14.0)	67 (66.1)	20 (8.5)	16 (8.5)
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	D *	0.6 (0.6)		1 (1.3)		
<i>Aristida divaricata</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	D			18 (18.3)		
<i>Bahia absinthifolia</i> Benth.	D	50 (42.2)	6 (5.8)		2 (2.0)	
<i>Barkleyanthus salicifolius</i> (Kunth) H. E. Robins. & Brett.	D	1 (0.5)		9 (7.1)	49 (49.3)	
<i>Bouteloua gracilis</i> (Kunth) Lag. ex Griffiths	D	44 (21.6)	95 (50.2)	68 (57.6)	5 (4.5)	2 (2.0)
<i>Cenchrus ciliaris</i> (L.) Link.	D			4 (3.5)	1 (1.0)	0.3 (0.3)
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	D	64 (64.3)		11 (11.0)	0.6 (0.6)	0.3 (0.3)
<i>Dasyochloa pulchella</i> (Kunth) Willd. ex Rydb.	D	1 (1.0)		0.6 (0.6)		

<i>Datura stramonium</i> L.	D *			1 (1.0)		
<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Vignolo ex Janch.	D *	3 (3.3)				
<i>Euphorbia serpens</i> Kunth	D *	6 (4.3)	8 (4.0)	2 (2.6)		
<i>Euphorbia serpillifolia</i> Pers	D *	0.3 (0.3)	11 (3.0)	1 (0.8)	3 (1.7)	17 (6.0)
<i>Glandularia bipinnatifida</i> (Nutt.) Nutt.	D *	303 (98.1)	110 (45.4)	1 (1.2)	2 (1.1)	
<i>Helianthus ciliaris</i> DC	D	119 (88.9)	19 (18.0)		68 (67.5)	10 (8.8)
<i>Hoffmanseggia glauca</i> (Ortega) Eifert	D		0.3 (0.3)			
Liquen folioso (No ID)	D	1 (1.0)	1 (0.8)	25 (21.5)	10 (6.6)	61 (17.3)
<i>Lysimachia arvensis</i> (L.) U.Manns & Anderb	D	2 (1.8)	2 (2.1)	4 (4.1)	1 (0.8)	0.3 (0.3)
<i>Nama hispida</i> A. Gray	D *	16 (11.7)	0.33 (0.3)	2 (2.0)		
<i>Nerisyrenia camporum</i> (A. Gray) Greene	D	199 (131.3)	121 (73.8)	68 (42.9)		
<i>Setaria adhaerens</i> (Forssk.) Chiov.	D *	1 (0.5)				
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	D	1 (1.3)		38 (38.0)	8 (7.2)	16 (16.0)
<i>Sphaeralcea angustifolia</i> (Cav.) G. Don	D	212 (80.5)	56 (18.5)	214 (103.2)	131 (125.8)	289 (159.1)
<i>Sporobolus airoides</i> (Torr.) Torr.	D	217 (103.0)	1 (1.6)			
<i>Thymophylla micropoides</i> (DC.) Strother	D	12 (7.5)	19 (11.2)			
<i>Tidestromia lanuginosa</i> (Nutt.) Standl.	D *	11 (11.0)	8 (5.7)			
<i>Verbesina encelioides</i> (Cav.) Benth. Y gancho. F. ex A. Gray	D *			26 (26.6)	122 (112.1)	13 (13.6)
Total: 39 especies		24	19	23	21	22

A: arbórea, B: arbustiva, C: cactácea, D: Herbácea, * vegetación anual

El estrato arbóreo fue representado únicamente por *Prosopis glandulosa* Torr., y este se encontró en las áreas de vegetación de referencia (VM) y demás edades de abandono, exceptuando el de 2 años. La densidad de *P. glandulosa* aumentó conforme aumentó la edad de abandono de 15 a 35 años. En el estrato arbustivo se observó la presencia de *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville en todas las edades de abandono y en la vegetación de referencia. La edad de abandono de 35 años registró una mayor densidad de esta especie que las edades de 2 a 25 años, pero menor que en la vegetación de referencia. Hubo tres veces más plantas de *L. tridentata* en la vegetación de referencia que en las parcelas de 35 años de abandono. Las plantas cactáceas se encontraron casi exclusivamente en las áreas de referencia. Las parcelas con edades de abandono de 25 y 35 años mostraron algunas cactáceas pero las parcelas de 2 y 15 años de abandono no mostraron cactáceas. Seis especies herbáceas fueron encontradas en todas las edades de abandono así como en la vegetación de referencia: *Allionia incarnata*, *Bouteloua gracillis*, *Euphorbia serpillifolia*, Liquen folioso, *Lysimachia arvensis*, y *Sphaeralcea angustifolia*.

Del total de 27 herbáceas encontradas 40.74% fueron anuales. En la edad de 2 años de abandono 22 de las 24 especies que se encontraron fueron herbáceas, de las cuales el 50% fueron anuales y las otras dos fueron arbustivas, pero con muy baja densidad (Tabla 2). A partir de 15 años de abandono se observó la presencia de *Prosopis glandulosa* Torr., mientras que al mismo tiempo se disminuyó el número de especies (19). En el rango de 25 años aumentó la cantidad de especies entre las que se encuentran diversos pastos y cactáceas.

El coeficiente de similitud fue de aproximadamente 0.5 para las edades de abandono de 2 y 15 años y aumentó de manera constante a 0.62 y 0.79 al aumentar los años de abandono a 25 y 35 años (Figura 2). Por lo tanto, al aumentar los años de abandono, las áreas abandonadas se acercaron más en términos de composición vegetal a las áreas con vegetación de referencia (VM). La edad de 35 años de abandono que muestra un total de 21 especies evidencia su composición similar a la de las áreas de vegetación de referencia con 22 especies y un coeficiente de similitud de 0.79.

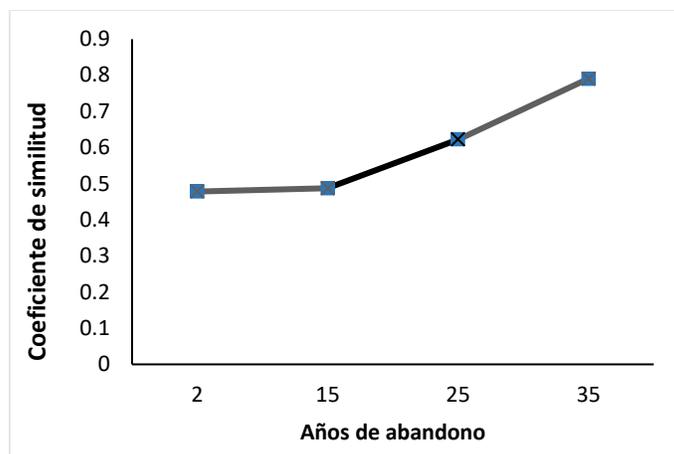


Figura 2. Coeficiente de similitud Sorensen de terrenos agrícolas de diferentes edades de abandono (2, 15, 25 y 35 años) con áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM).

3.3 Contenido de carbono orgánico en suelo

Los suelos mostraron propiedades edáficas similares en sus fracciones minerales resultando en texturas franco para el rango 2 y franco-arcilloso para 15, 35 y VM. Particularmente el suelo con 25 años de abandono muestra una densidad aparente mayor que el promedio 1.08 g cm^{-3} y con la proporción más alta de arena y arcilla que las demás edades resulta en una textura franco-arenoso-arcilloso. (Tabla 3). El contenido de carbono orgánico en suelo no mostró diferencias ($P > 0.05$) en las profundidades de muestreo de 0-30 cm y 30-60 cm (Figura 3).

Tabla 3.

Propiedades de suelo de terrenos agrícolas con diferente edad de abandono (2, 15, 25 y 35 años) y vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo (VM). En 0-60 cm de profundidad. (n=3) Da: densidad aparente, C/N: carbono/nitrógeno.

Edad de abandono	Distribución del tamaño de partícula (%)			Da (g cm^{-3})	Relación: C/N
	Arena	Arcilla	Limo		
2	39.7	27.3	33.0	1.064	50.34
15	37.7	31.4	30.9	1.079	48.03
25	45.0	28.1	26.9	1.140	51.22
35	40.2	36.7	23.1	1.082	41.01
VM	36.4	30.0	33.6	1.069	53.28

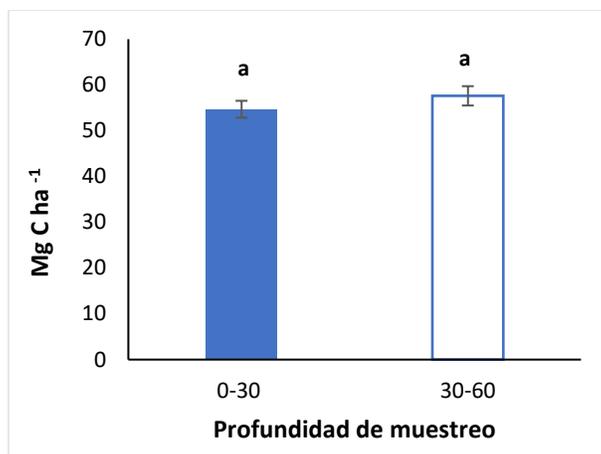


Figura 3. Carbono orgánico en suelo (Mg C ha^{-1}) en las edades de abandono (2, 5, 15, 25, 35 años) y vegetación matorral (VM) por profundidades de muestreo (0-30 y 30-60 cm). Letras minúsculas iguales son estadísticamente similares (LSD, 0.05)

El contenido de carbono orgánico en suelo entre 0 y 60 cm de profundidad mostró diferencias significativas por edad de abandono. (Figura 4). Aunque la edad de 2 años de abandono mostró los mayores contenidos de carbono orgánico en suelo con $130.92 \text{ Mg}\cdot\text{C}\cdot\text{ha}^{-1}$, este no es significativamente diferente a las áreas de referencia con $120 \text{ Mg}\cdot\text{C}\cdot\text{ha}^{-1}$. A partir de los 15 años de abandono, se observó una tendencia hacia la disminución del carbono en el suelo con el tiempo de abandono (aunque el rango de 25 años no fue diferente del de 2 años). Así, el rango de 35 años de abandono mostró los menores contenidos de carbono orgánico en suelo con $90.35 \text{ Mg}\cdot\text{C}\cdot\text{ha}^{-1}$, siendo estadísticamente diferente que las áreas de referencia.

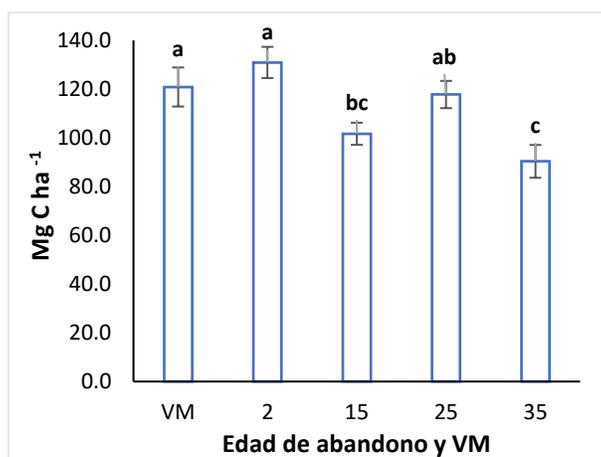


Figura 4. Carbono orgánico en suelo (Mg C ha^{-1}) por edad de abandono (2, 5, 15, 25, 35 años) y vegetación matorral (VM) en 0-60 cm de profundidad. Letras minúsculas iguales son estadísticamente similares (LSD, 0.05). Los datos representan la media mostrando el error estándar basados en 150 muestras de suelo.

3.4 Contenido de Nitrógeno Total en suelo

El contenido de nitrógeno total en suelo mostró diferencias no significativas entre las profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm para todas las edades de abandono, con una media de 1.17 y 1.12 Mg·N·ha⁻¹, respectivamente (Figura 5).

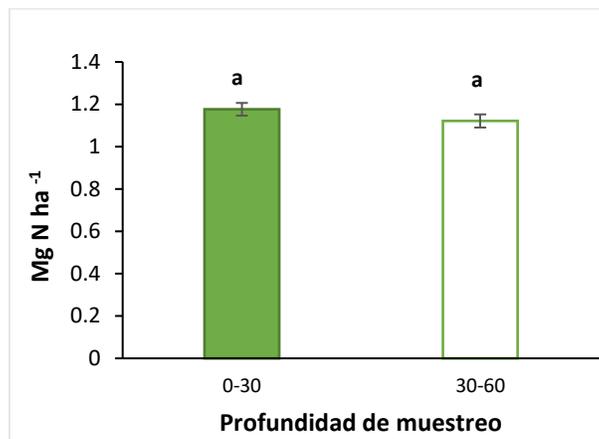


Figura 5. Nitrógeno total en suelo (Mg N ha⁻¹) en las edades de abandono (2, 5, 15, 25, 35 años) y vegetación matorral (VM) por profundidad de muestreo (0-30 y 30-60 cm). Letras minúsculas iguales son estadísticamente similares (LSD, 0.05).

El contenido de nitrógeno total mostró diferencias significativas por rango de abandono de 0 a 60 cm de profundidad (Figura 6). La edad de 2 años de abandono presentó los mayores contenidos de nitrógeno en suelo con 2.6 Mg·N·ha⁻¹, siendo estadísticamente mayor a las áreas de vegetación de referencia (VM) y al resto de las edades de abandono. Aunque la edad de 15 años de abandono presentó los contenidos menores de NT en suelo con 2.11 Mg·N·ha⁻¹, esta resultó estadísticamente similar a las áreas de vegetación de referencia y a las edades de abandono de 25 y 35 años.

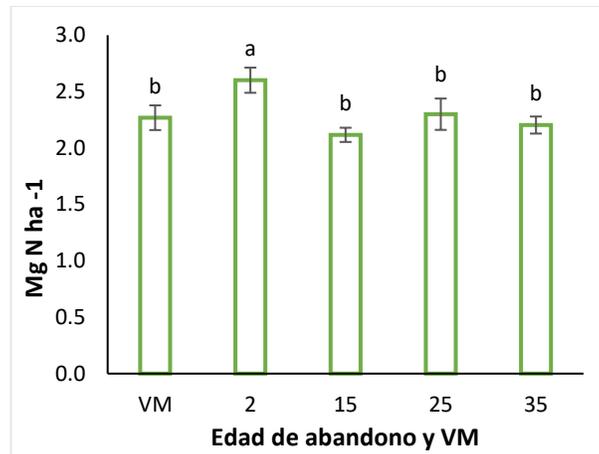


Figura 6. Nitrógeno total en suelo (Mg N ha^{-1}) por edad de abandono (2, 5, 15, 25, 35 años) y vegetación matorral (VM), en 0-60 cm de profundidad. Los datos representan la media mostrando el error estándar basados en 150 muestras de suelo. Letras minúsculas iguales son estadísticamente similares (LSD, 0.05).

4. DISCUSION

4.1 Sucesión Ecológica

Antes de abrirse al cultivo, cualquier terreno sostuvo vegetación natural, que tuvo que ser eliminada. Una vez que los terrenos agrícolas dejan de ser cultivados y abandonados, es decir cuando no son intencionalmente restaurados, inicia un proceso natural de sucesión ecológica. En este proceso, la vegetación natural del área puede ser recuperada debido a su adaptación a las condiciones climáticas y de suelo de la región (Zhao *et al.* 2005). Sin embargo, muchos factores influyen para determinar la vegetación dominante como producto de la sucesión.

En el área de estudio fue claro que la sucesión ecológica después de 35 años de abandono de terrenos agrícolas ha resultado en clara dominancia de *P. glandulosa*. Esta es una especie nativa que existe de manera natural en la vegetación de referencia (VM) del área de estudio, pero que ha ganado en abundancia y en producción de biomasa y ha desplazado a otras especies arbustivas importantes que forman parte de las áreas de referencia como *L. tridentata*. Este resultado refleja la gran capacidad competitiva de *P. glandulosa* bajo condiciones de disturbio, lo cual ha sido reportado previamente (Ansley *et al.* 2001). Es una especie que compite por el agua disponible, suprime el crecimiento de pastos y llega a reducir la diversidad de especies lo que resulta en la pérdida de la

cubierta vegetal del suelo provocando erosión debido a los efectos alelopáticos de su hojarasca (Global Invasive Species Database, 2020).

4.2 Contenido de carbono en biomasa aérea

En los terrenos agrícolas, a partir de 15 años de abandono se observó un claro incremento en biomasa aérea y por lo tanto en carbono, pero este incremento fue debido en su mayor parte al incremento en la presencia y crecimiento de *P. glandulosa*. En las áreas con 35 años de abandono, la cantidad de carbono fue más de cuatro veces mayor que en las áreas de referencia.

El presente resultado proporciona evidencia sobre la restauración de la vegetación en terrenos agrícolas abandonados. Los resultados del estudio indican que algunas especies como *Larrea tridentata* y *Prosopis glandulosa* repoblaron gradualmente los ecosistemas después de la colonización de herbáceas por el abandono de los terrenos agrícolas. La medición del índice de similitud entre los terrenos agrícolas abandonados y las áreas de vegetación de referencia (VM) indicó que las comunidades vegetales muestran una tendencia hacia asemejarse a la comunidad de referencia. Los suelos post-agrícolas en un ambiente semiárido tienen un alto potencial para la captura de carbono si la sucesión vegetal favorece la recuperación de las comunidades vegetales originales. Los procesos ecológicos que impulsan la sucesión incluyen la dispersión de propágulos, interacciones interespecíficas, variación de la historia de vida, acumulación de biomasa y mineralización de nutrientes (Lee, You y Robinson, 2002).

4.3 Contenido de carbono orgánico y nitrógeno total en suelo

Los contenidos de carbono orgánico en suelo en el rango de 2 años de abandono de terrenos agrícolas fueron similares a las áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo. En ese mismo rango los contenidos de nitrógeno total en suelo fueron mayores a las áreas de vegetación arbustiva de matorral desértico micrófilo. La acumulación de carbono orgánico del suelo facilitó la etapa de sucesión vegetal posterior de las especies arbustivas y arbóreas. Los resultados sugieren que en la etapa temprana de restauración se recuperan más rápidamente los nutrientes orgánicos y en la etapa de

sucesión posterior se tiene una restauración más lenta, lo que concuerda con los hallazgos de Zhao *et al.* (2005).

Los datos muestran que las edades con presencia de herbáceas como los pastos poseen los mayores contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total en suelo y, las edades donde domina *Prosopis glandulosa* presentan bajos contenidos de carbono orgánico en suelo mientras que el nitrógeno total en suelo permanece estable con el paso del tiempo de abandono. Otros autores (Sharrow e Ismael 2004; Abdallah *et al.* 2020) también encontraron que áreas dominadas por pastos tienden a presentar mayores contenidos de carbono en el suelo que áreas donde predominan las especies arbóreas. Esto es debido a la característica dinámica de producción de raíces por herbáceas que depositan más materia orgánica anualmente que las especies arbóreas.

5. CONCLUSIONES

Los terrenos agrícolas abandonados con presencia de herbáceas como los pastos poseen mayores contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total en suelo. Sin embargo, los terrenos con mayor tiempo de abandono donde dominan especies arbóreas como *Prosopis glandulosa* presentaron bajos contenidos de carbono orgánico en suelo. El carbono orgánico y nitrógeno en suelos no mostraron incremento en relación con el tiempo de abandono en los terrenos agrícolas.

Dado que la tendencia de la sucesión vegetal después del abandono de terrenos agrícolas es hacia la dominancia de *P. glandulosa*, es posible predecir que la acumulación de carbono en el suelo es poco factible en el futuro. Se recomienda que los terrenos agrícolas abandonados sean restaurados activamente por ejemplo restringiendo el pastoreo. De esta manera las especies de pastos nativos del área tendrán una mejor capacidad de competir con *P. glandulosa*.

LITERATURA CITADA

- Abdallah, M.A., Mata-González, R., Noller, J.S. and Ochoa, C.G. (2020). Ecosystem carbon in relation to woody plant encroachment and control: Juniper systems in Oregon, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 290, 106762.
- Ansley, R.J., Wu, X.B. and Kramp, B.A. (2001). Observation: long-term increases in mesquite canopy cover in a north Texas savanna. *Journal of Range Management Archives*, 54(2), 171-176.
- Arroyo, M.T.K., Cavieres, L.A., Castor, C., Humaña, A.M. (1999). Persistent soil seed bank and standing vegetation at a high alpine site in the central Chilean Andes. *Oecologia*, 119(1), 126-132.
- Cerutti, M. (2019). Crisis y reconversión del tejido productivo en un espacio regional del norte de México: La Laguna (1875–1975). *Investigaciones de Historia Económica*, 4(10), 97-128. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1698-6989\(08\)70138-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1698-6989(08)70138-3)
- Chang, X., Chai, Q., Wu, G., Zhu, Y., Li, Z., Yang, Y., & Wang, G. (2017). Soil Organic Carbon Accumulation in Abandoned Croplands on the Loess Plateau. *Land Degradation and Development*, 28(5), 1519-1527. doi: 10.1002/ldr.2679
- Cotler, H., Martínez; M., y Etchevers, J. D. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación políticas públicas. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 125-138.
- Cox, G.W. (1972). "Laboratory Manual of General Ecology". W.O.C., Iowa.
- Deng, L., Wang, G.-l., Liu, G.-b., & Shangguan, Z.-p. (2016). Effects of age and land-use changes on soil carbon and nitrogen sequestrations following cropland abandonment on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, 90, 105-112. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.01.086
- García de M., E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México. ISBN:970-32-1010-4.

- Global Invasive Species Database (2020) Perfil de la especie: *Prosopis glandulosa*.
Descargado de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=137>.
- Google Earth (2019). Google Earth. Obtenido de <http://earth.google.com/>
- Hamerlynck, E. P., Scott, R. L., & Stone, J. J. (2012). Soil moisture and ecosystem function responses of desert grassland varying in vegetative cover to a saturating precipitation pulse. *Ecohydrology*, 5(3), 297-305. doi: 10.1002/eco.214
- Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., van der Werf, G. R., DeFries, R. S., Hansen, M. C., . . . Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9(12), 5125-5142. doi: 10.5194/bg-9-5125-2012
- Lee, C.S., You, Y.H., Robinson, G.R. (2002). Secondary succession and natural habitat restoration in abandoned fields of central Korea. *Restor. Ecol.* doi: 10.1111/gcb.13650
- Kosmas, C., Gerontidis, S., & Marathianou, M. (2000). The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesbos (Greece). *Catena*, 40(1), 51-68. doi: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00064-8](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00064-8)
- NOM-021-RECNAT-2000 (2002). Norma Oficial Mexicana: Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Obtenido de: <http://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC050674/>
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Obtenido de: <https://www.R-project.org/>.
- Selecky, T., Bellingrath-Kimura, S., Kobata, Y., Yamada, M., Guerrini, I., Umemura, H., & Dos Santos, D. (2017). Changes in Carbon Cycling during Development of Successional Agroforestry. *Agriculture*, 7(12), 25. doi: 10.3390/agriculture7030025
- Sharrow, S.H. and Ismail, S. (2004). Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry systems*, 60(2), 123-130.

van der Merwe, H., & van Rooyen, M. W. (2011). Life form and species diversity on abandoned croplands, Roggeveld, South Africa. *African Journal of Range & Forage Science*, 28(3), 99-110. doi: 10.2989/10220119.2011.642097

Zhao, W. Z., Xiao, H. L., Liu, Z. M., & Li, J. (2005). Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. *Catena*, 59(2), 173-186. doi: 10.1016/j.catena.2004.06.004