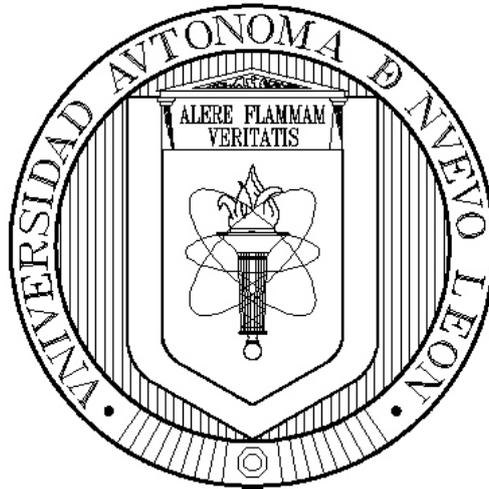


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**CONTENIDO DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EN  
REGOSILES EN ÁREAS BAJO MANEJO DEL  
MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO Y ROSETÓFILO**

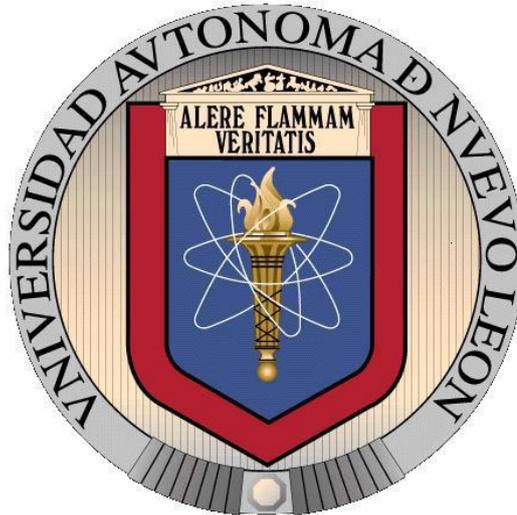
**POR**

**JOSÉ EDUARDO PÉREZ PÉREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**FEBRERO, 2018**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**CONTENIDO DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EN  
REGOSILES EN ÁREAS BAJO MANEJO DEL MATORRAL  
DESÉRTICO MICRÓFILO Y ROSETÓFILO**

**POR**

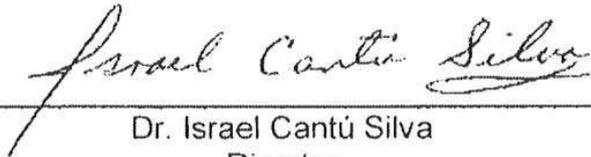
**JOSÉ EDUARDO PÉREZ PÉREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**FEBRERO, 2018**

**CONTENIDO DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EN  
REGOSILES EN ÁREAS BAJO MANEJO DEL MATORRAL  
DESÉRTICO MICRÓFILO Y ROSETÓFILO.**

Aprobación de Tesis



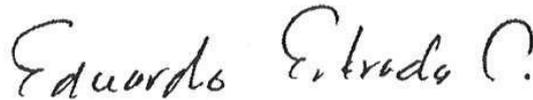
---

Dr. Israel Cantú Silva  
Director



---

Dr. Humberto González Rodríguez  
Asesor



---

Dr. Andrés Eduardo Estrada Castellón  
Asesor



---

Dra. Romelia Medina Guillén  
Asesor

Febrero, 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado durante estos dos años de maestría lo cual permitió la elaboración de la presente investigación.

A la Facultad de Ciencias Forestales por permitir concluir mis estudios en el programa de posgrado y así obtener el título de maestría en ciencias forestales.

Al Dr. Israel Cantú Silva por el apoyo brindado durante la elaboración de la tesis, por su gran disposición y comprensión.

Al Dr. Humberto González Rodríguez por su colaboración y disposición en esta etapa en la maestría.

A la Dra. Romelia Medina Guillén por formar parte de esta investigación, por su disposición y apoyo.

Al Dr. Andrés Eduardo Estrada Castellón por su disposición y apoyo en el desarrollo de esta investigación. A la M.C. María Inés Yáñez Díaz por su gran apoyo en el laboratorio de suelos y a los compañeros que me brindaron todo su apoyo para concluir con esta investigación.

A la Maestra Martha Lucía Erevia Uresti. A mis tíos Juan Pérez del Ángel, Eulogio Pérez Pérez Por el apoyo y el tiempo dedicado que me sirvió para culminar con una etapa más de mi vida. A la Contadora Guadalupe Pérez Morales.

A mis hermanos Omar Jacinto Pérez Pérez y Cesar Eusebio Pérez Pérez

***DEDICADO A:***

***mis padres***

***Victoria Pérez Morales***

***Mauro Pérez del Ángel***

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	1
ÍNDICE DE FIGURAS .....	2
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	4
RESUMEN .....	6
SUMMARY .....	8
CAPÍTULO I .....	10
INTRODUCCIÓN .....	10
ANTECEDENTES .....	12
JUSTIFICACIÓN .....	19
HIPÓTESIS .....	20
OBJETIVOS .....	20
General.....	20
Específicos .....	20
CAPÍTULO II .....	21
MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
Caracterización del área de estudio .....	21
Tipos de suelo y vegetación .....	22
Tratamientos empleados .....	22
Regosol.....	22
Matorral desértico micrófilo.....	23
Matorral desértico rosetófilo.....	23
Descripción del rodillo aireador.....	23
MACRONUTRIENTES .....	24
Fósforo (P).....	24
Calcio (Ca).....	24
Magnesio (Mg).....	25
Potasio (K).....	25
MICRONUTRIENTES .....	25
Hierro (Fe) .....	25
Manganeso (Mn).....	25
Zinc (Zn) .....	26
Cobre (Cu).....	26

METODOLOGÍA.....	26
Método AS-10 extracción de fósforo.....	27
Procedimiento del método AS-10 .....	27
Cálculos para el método AS-10 .....	28
Método de extracción de macronutrientes con acetato de amonio (NH <sub>4</sub> Ac) .	28
Materiales .....	29
Reactivos .....	29
Procedimiento.....	30
Calculo.....	30
Valoración.....	31
Método de extracción de micronutrientes con DTPA-TEA.....	31
Materiales .....	31
Reactivos .....	32
Procedimiento.....	33
Valoración de los micronutrientes.....	33
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	34
RESULTADOS .....	35
Macronutrientes.....	35
Micronutrientes .....	38
ANOVA.....	41
DISCUSIÓN .....	54
CONCLUSIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores medios de calcio para los tratamientos empleados para cada tipo de vegetación. ....	35
Tabla 2. Clasificación según los $\text{mg L}^{-1}$ de Fósforo en el suelo. ....	35
Tabla 3. Contenido de fósforo en los distintos tratamientos del MDM yMDR. ....	36
Tabla 4. Datos medios del contenido de Magnesio (Mg) para el MDM y MDR ....	37
Tabla 5. Contenido promedio de fósforo (P) para el MDM y MDR para todos los tratamientos.....	37
Tabla 6. Resultados promedios de los tratamientos del hierro(Fe) para el MDM y MDR. ....	38
Tabla 7. Resultados promedio de Cu para los tratamientos analizados .....	39
Tabla 8. Valores promedios de Mn los tratamientos del MDM y MDR.....	40
Tabla 9. Contenidos medios de Zn para los tratamientos realizados en MDM y MDR.....	40
Tabla 10. Resultados del ANOVA para las variables analizadas.....	42
Tabla 11. Resultado de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio, dónde: A= MDMt, B=RA04, C=RA08, D=RA11 y E=IN11.....	21
Figura 2. Fotocolorímetro de longitud de onda 882nm .....	28
Figura 3. Espectrofotómetro de Absorción Atómica.....	30
Figura 4. Valores medios de fósforo para el MDM 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	44
Figura 5. Valores medios de fósforo para el MDR 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	45
Figura 6. Valores medios de Magnesio para el MDM 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	46
Figura 7. Valores medios de Magnesio para el MDR- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	47
Figura 8. Valores medios de Potasio para el MDM- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	48
Figura 9. Valores medios de Potasio para el MDR- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	48
Figura 10. Valores medios de Manganeso para el MDM 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	49
Figura 11. Valores medios de Manganeso para el MDR- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	50
Figura 12. Valores medios de Zinc para el MDM- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	50
Figura 13. Valores medios de Zinc para el MDR 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	51
Figura 14. Valores medios de Cobre para el MDM 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	51
Figura 15. Valores medios de Cobre para el MDR 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	52

Figura 16. Valores medios de Hierro para el MDM 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	53
Figura 17. Valores medios de Hierro para el MDR 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$ ). .....	53

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
MDM	Matorral desértico micrófilo
MDR	Matorral desértico rosetófilo
MDMt	Matorral desértico micrófilo testigo
MDRt	Matorral desértico rosetófilo testigo
MDMRA04	Matorral desértico micrófilo rodillo aireador 2004
MDRRA04	Matorral desértico rosetófilo rodillo aireador 2004
MDMRA08	Matorral desértico micrófilo rodillo aireador 2008
MDRRA08	Matorral desértico rosetófilo rodillo aireador 2008
MDMRA11	Matorral desértico micrófilo rodillo aireador 2011
MDRRA11	Matorral desértico rosetófilo rodillo aireador 2011
MDMRIN11	Matorral desértico micrófilo incendio 2011
MDRRIN11	Matorral desértico rosetófilo incendio 2011
RA	Rodillo aireador
IN	Incendio
FA	Factor vegetación
FB	Uso de rodillo e Incendio
RA04	Rodillo aireador 2004
RA08	Rodillo aireador 2008
RA11	Rodillo aireador 2011
IN11	Incendio 2011
UMA	Unidades para la conservación de la vida silvestre
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
PH	Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
MO	Materia orgánica
k	Coeficiente de permeabilidad
DA	Densidad aparente

CE	Conductividad eléctrica
AU	Agua útil
RMP	Resistencia mecánica a la penetración
IAc	Infiltración acumulada de agua en el suelo
H'	Índice de Shannon
<i>F</i>	Valor de F
<i>P</i>	Valor de p
<i>T</i>	Valor de T

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el contenido de macro y micronutrientes en regosoles en áreas bajo manejo del matorral desértico micrófilo y rosetófilo, donde se realizaron tratamientos de rehabilitación de suelo mediante el uso de rodillo aireador e incendios naturales que se presentaron en diferentes periodos en el Desierto Chihuahuense. Los tratamientos empleados fueron 5 para cada tipo de vegetación: testigo (MDMt), (MDRt), rodillo aireador aplicado en 2004 (RA04), 2008 (RA08), 2011(RA11), y área incendiada 2011 (IN11). Se evaluó el contenido de macro y micronutrientes en suelo proveniente de la Sierra María del Carmen, Coahuila, México. Para determinar el contenido de los macronutrientes se utilizaron dos metodologías. Para la determinación del contenido de fósforo (P) en los tratamientos se utilizó el método AS-10, por el procedimiento de Olsen y colaboradores especificado en la Norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, mediante el uso de un fotocolorímetro con longitud de onda de 882nm. Para los nutrientes potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca) se utilizó el método de extracción con Acetato de amonio ( $C_2H_3O_2NH_4$ ) 1N pH 7.0, por intercambio catiónico, determinados por espectrofotometría de absorción atómica. Para los micronutrientes hierro (Fe), manganeso (Mg), zinc (Zn) y cobre (Cu), se utilizó una solución extractora de ácido Dietilenotetraminopentacético (DTPA) 0.005M, Trietanolamina (TEA) 0.01M y Cloruro de Calcio 0.01M ( $CaCl_2$ ): a pH 7.3 según Lindsay y Norvell(1978) determinados igualmente mediante un espectrofotómetro de absorción atómica. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS 16 utilizando la prueba de Kolmogórov-Smirnov para identificar la distribución normal de los datos. Se realizaron pruebas de Tukey para encontrar los grupos y las diferencias entre las variables analizadas. De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontró que el uso del rodillo aireador presento efectos benéficos debido a que en los tratamientos se mostraron mejores condiciones en las capas de 0 a 15 cm

de profundidad poniendo a disponibilidad de las plantas los nutrientes, sin embargo, se recomienda un uso cíclico ya que a través del tiempo los nutrientes muestran una menor disponibilidad, tal como lo mostro la comparación de medias entre el testigo y los otros tratamientos de rodillo aireador, en donde se encontró que la aplicación de este implemento tuvo mejores resultados en el Ra11, la cual fue una de las aplicaciones más recientes en el área de estudio.

## SUMMARY

The objective of the present study was to evaluate the content of macro and micronutrients in regosols in areas under the management of desert microphyte and rosethophyll shrubs, where soil rehabilitation treatments were carried out using aerator roller and natural fires that occurred at different periods in the Chihuahuan Desert. The treatments used were 5 for each type of vegetation: control (MDMt), (MDRt), aerator roller applied in 2004 (RA04), 2008 (RA08), 2011 (RA11), and area burned 2011 (IN11). The content of macro and micronutrients in soil from the Sierra María del Carmen, Coahuila, Mexico was evaluated. Two methodologies were used to determine the content of the macronutrients. For the determination of the phosphorus content (P) in the treatments, the AS-10 method was used, by the Olsen and collaborators procedure specified in the Official Mexican Standard NOM-021-SEMARNAT-2000, by means of the use of a photocolorimeter with length of wave of 882nm. For the nutrients potassium (K), magnesium (Mg) and calcium (Ca) the extraction method with ammonium acetate ( $C_2H_3O_2NH_4$ ) 1N pH 7.0 was used, by cation exchange, determined by atomic absorption spectrophotometry. For micronutrients iron (Fe), manganese (Mg), zinc (Zn) and copper (Cu), an extracting solution of diethylene tetraminepentaacetic acid (DTPA) 0.005M, Triethanolamine (TEA) 0.01M and 0.01M Calcium Chloride was used ( $CaCl_2$ ): at pH 7.3 according to Lindsay and Norvell (1978) determined also by means of an atomic absorption spectrophotometer. For the statistical analysis of the data, the statistical package SPSS 16 was used, using the Kolmogórov-Smirnov test to identify the normal distribution of the data. Tukey tests were performed to find the groups and the differences between the variables analyzed. According to the results obtained, it was found that the use of the aerating roller had beneficial effects due to the fact that the treatments showed better conditions in the layers from 0 to 15 cm deep, making the nutrients available to the plants, however, a cyclic use is recommended since over time the nutrients show a lower availability, as it was shown by the comparison of means between the control and the other aeration roller treatments, where it was found that the

application of this implement had better results in Ra11, which was one of the most recent applications in the study area.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los nutrientes son el factor que determina la fertilidad del suelo, asociado a las condiciones climáticas, que determinan el tipo de vegetación que se puede establecer en cada tipo de suelo. El contenido de los macro y micro nutrientes depende de las condiciones ambientales, el uso del suelo, disturbios y contaminación, la cual puede aumentar la presencia del algún elemento químico en el suelo, ya sea por precipitación o arrastre de material desechado por el hombre. En México, la SEMARNAT & Colegio de Postgraduados (2003), establece que el 42% del territorio tiene gran riesgo de pérdida de suelo mayor a 200 Tn/ha/año, particularmente en Coahuila el 32% de su superficie es afectada por erosión que va desde ligera a muy severa. Esto debido a la baja capacidad de infiltración debido a la compactación de suelo y a su escasa cobertura vegetal.

Las plantas absorben los nutrientes a través de las raíces y, como consecuencia, para mantener el equilibrio entre la fase sólida y líquida se produce la desorción o disolución desde la fase sólida, pero no toda la cantidad de un elemento existente en la fase sólida del suelo puede ser transferido a la solución (RAIJ, 1998).

Los macronutrientes son los nutrientes que se necesitan en mayores cantidades en los procesos metabólicos de las plantas (N, P, K, Ca, Mg y Na) y los micronutrientes en menor cantidad (Fe, Mn, Cu y Zn).

El suelo es parte esencial de los ecosistemas terrestres contiene agua y elementos nutritivos que los seres vivos utilizan para su crecimiento y por lo tanto condiciona el desarrollo del ecosistema (Ibañez, 2004). La aireación del suelo es un factor importante que controla la actividad microbiana, la disponibilidad de nutrientes, y el crecimiento de las raíces de las plantas (Walterset *al.*,1992). Uno de los propósitos principales de esta investigación es determinar el estado de fertilidad del suelo, e identificar los elementos

nutritivos que podrían limitar el crecimiento de las plantas, evaluando los diferentes tratamientos antes mencionados.

La degradación del suelo es también llamada desertificación, principalmente es causada por el hombre por mal uso del suelo, lo cual con ello lleva a la pérdida de nutrientes (Camci-Çetinet *al.* 2007). Otro factor importante es la percolación de nutrientes, como es el caso del nitrógeno, en presencia de precipitaciones, ocurre lixiviación depositándolo lejos de las capas arables.

La degradación de los suelos es un proceso que puede estar inducido por el hombre y que disminuye la capacidad actual y/o futura para sostener la vida humana. Los tipos dominantes son: erosión hídrica, compactación y erosión eólica. Las causas principales son el sobrepastoreo y las prácticas agrícolas superficiales, a lo que hay que añadir las actividades industriales (Espinosa, 2011). Sólo para la parte norte del país, en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, para 1999 la superficie pastoreada correspondió al 29.8% de la superficie nacional (1,967,173 km<sup>2</sup>) y al 69% de la superficie de éstos estados fronterizos (847,624 km<sup>2</sup>) según lo reportado por Villegas *et al.*, (2001).

El rodillo aireador es un cilindro metálico pesado con dientes o cuchillas soldadas helicoidalmente a lo largo del mismo para lograr una mayor penetración en el suelo y una mayor eficiencia en el rodado. Este diseño permite que todo el peso del cilindro se concentre solamente en una o dos cuchillas a la vez. El implemento se engancha en la parte posterior de un buldózer y es rodado sobre la superficie del terreno que se desea rehabilitar; este puede ser utilizado sin carga pero es preferible llenarlo con agua y/o acondicionarlo usando piedras o sacos de arena para brindar mayor peso y lograr mayor penetración de las cuchillas en el suelo. (Rubio, 2009).

En las regiones semiáridas, las manipulaciones de los hábitats con disturbios mecánicos, quemas prescritas y pastoreos, pueden ser afectadas por las condiciones previas del sitio y sus interacciones con los factores ambientales tales como temperaturas y precipitaciones erráticas y muy variables (Fulbright, 1996; Fuhlendorf *et al.*, 2001).

## ANTECEDENTES

México es uno de los países con gran demanda de alimentos y herramientas para mantener a la población, esta es una de las causas principales de degradación de suelos en el país, ya sea por la agricultura o la ganadería, tales actividades causan una degradación en el suelo ya sea por sobre explotación agrícola, o por la ganadería que afecta la permeabilidad y compactación del suelo, entre otras características físicas del suelo. La rehabilitación de áreas degradadas es difícil de restaurar, para lo cual es necesario realizar diferentes estudios. Marcos *et al.*,(1999) estudiaron el efecto inmediato de un incendio sobre determinados parámetros químicos del suelo en una repoblación de *Pinus radiata*, comparando los efectos del fuego en dos parcelas contiguas, una con arbolado y otra que había sido talada antes del incendio. Los principales cambios que se notaron después del incendio en la capa de 0-2 cm del suelo, disminuyendo el contenido de carbono, fósforo asimilable así como potasio y magnesio solubles. No se detectaron cambios importantes en la capa de 2-5 cm.

Por otra parte, Medina(2016), realizó una evaluación en las propiedades edafológicas de acuerdo a técnicas de rehabilitación de suelo con rodillo aireador aplicado en tres diferentes años, se incluyó un área incendiada naturalmente (2011) y un testigo, en el matorral desértico micrófilo y rosetófilo en las planicies de la Sierra Maderas del Carmen, los resultados que encontró indicaron que el uso de rodillo aireador durante los primeros tres años, incrementó la materia orgánica y disminuyó la compactación del suelo, mostrando ser una buena alternativa para mejorar las propiedades hidroedafológicas del suelo, sin embargo después de un lapso de 6 a 10 años estos beneficios disminuyeron, por lo cual el uso de rodillo aireador representa una opción de manejo periódico para obtener beneficios en la vegetación desértica.

Casas y Manzano (2009) evaluaron el uso de rodillo aireador durante el período junio-octubre 2008, para mejorar la condición de tierras de pastoreo degradadas respecto a variables de influencia en suelo y vegetación y determinar la capacidad del sistema para actuar como sumidero de carbono

en seis sitios del noreste de México. Se aplicaron los índices de dominancia y de equitatividad que indicaron un ambiente de similar heterogeneidad entre área sin y con tratamiento y patrón estructural de dominancia similar en cuatro sitios; existió sin embargo, mayor diversidad específica para arbustivas en todos los sitios a favor del área con tratamiento. Los índices de similitud y disimilitud, permitió definir las especies coincidentes entre ambas áreas lo que reveló un recambio de especies, que se hizo notorio en cuanto al valor de importancia de las especies registradas, modificadas en su estatus de ocupación. Los valores reportados para cada variable ecológica considerada no resultaron significativamente diferentes, pero mostraron una diferencia porcentual y una tendencia favorable en el área con tratamiento, en la mayoría de los casos, con una aparente eficacia del uso de este implemento mecánico de aireación, en los sitios evaluados y bajo las variables consideradas en este estudio. El contenido de carbono en suelo y biomasa se determinó con el empleo del TOC AnalyzerSolids, la biomasa mostró tendencia a variar entre las diferentes especies en esta investigación, lo que le confiere a la tecnología de aireación del suelo características favorables para su uso en el mejoramiento de estas tierras como sumideros de carbono. El valor porcentual del contenido de carbono del suelo fue relativamente más alto en áreas con tratamientos, aunque dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Se asume que la mayor o menor respuesta al uso del rodillo aireador está vinculado con el VI banco de semillas existente en el suelo, la calidad de la materia orgánica que se deposita con el paso del rodillo y el tipo de suelo, como atributos que aportan estas variaciones.

Cervantes *et al.*(2009) realizaron un análisis de las características poblacionales de la codorniz Bobwhite (*Colinusvirginianus L.*) en el Rancho “Campo Santa María” Nuevo León, para evaluar la relación cobertura-densidad de dicha población, y así poder establecer un plan de manejo y aprovechamiento posterior, que ayudará a la conservación de dicha especie. El área de estudio, Rancho “Campo Santa María” con una superficie total de 12,000 hectáreas, se ubica al oeste del municipio de Lampazos del Naranjo, Nuevo León, donde hay destacar la transición entre el matorral espinoso

tamaulipeco y el matorral desértico micrófilo. Los resultados en el presente estudio de los 78 datos que arrojaron las pruebas de campo en ambas regiones a lo largo de un ciclo comprendido entre mayo de 2003 a marzo de 2004, encontramos que la especie prefiere los sitios tratados con rodillo aireador ( $P < 0.1$ ), optando por las semillas de vegetación nativa sobre la suplementación con sorgo, también se observó que la población que habita el lugar es estable ya que no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.17$ ), a lo largo de los meses de estudio.

Andrade *et. al.*(2009), evaluaron el efecto de la descompactación en propiedades físicas del suelo con el uso del rodillo aireador y producción de forraje en praderas de zacate Buffel común. Para la rehabilitación de praderas a través de prácticas culturales. El estudio se realizó en el ejido el Grullo, Municipio de Reynosa, Tamaulipas, el cual presenta suelos tipo Calcisol medianamente profundo. Para fragmentar la capa superficial del suelo, se utilizó un rodillo jalado por un tractor, el tratamiento se aplicó en parcelas de una hectárea durante julio del 2008. El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con dos tratamientos (descompactado y compactado) y cinco repeticiones. Los resultados muestran que el rodillo aireador redujo ( $p < 0.05$ ) el grado de compactación del suelo entre 18% y 36%, y aumento la capacidad de infiltración hasta un 44%. En los meses de agosto y septiembre se presentaron tres eventos de lluvia que acumularon 210 mm de precipitación, al evaluar las parcelas y sus correspondientes testigos durante tres semanas la retención de agua en las parcelas sin compactación fue 10% superior al de las parcelas testigo. Esta razón fue disminuyendo a razón de 4.8% diario.

Flores(2004) realizó una rehabilitación de suelos mediante roturación mecánica por subsoleo cruzado utilizando tractor buldózer equivalente a D-4, D-6, D-7 y D-8 caterpillar, encontrando que preferentemente los dientes deben de ser de 80 cm, lo que conduce a una profundidad efectiva de subsoleo de 40 a 50 cm. Es más fácil realizar el subsoleo en estado húmedo, sin embargo, la fracturación de los horizontes endurecidos es más completa en estado seco. Para llevar a cabo la roturación se deben

considerar como principales factores, el tamaño de los agregados y la profundidad del sustrato. Con los resultados encontrados, se determinó que la profundidad mínima de roturación es de 40 cm y el tamaño de los agregados o terrones debe ser de 2.5 a 3.5 mm.

Flores *et al.*(2013) realizaron en el municipio de Peñón Blanco, Durango, específicamente en áreas de agostaderos con problemas de invasión de arbustos y baja producción de forraje. El municipio de Peñón Blanco es representativo por predominar una zona de matorral, se utilizó el rodillo aireador para realizar las obras de mejoramiento o recuperación de los pastizales que se encuentran en los agostaderos. Se trabajaron cinco sitios de transferencia donde se evaluó el impacto del uso del rodillo aireador en la producción de materia seca de los potreros así como la disminución de especies arbustivas en áreas de matorrales. Se tuvo una producción de forraje de hasta 876 kg de materia seca de pastos en el mejor sitio de evaluación trabajado y se recomienda volver a pasar el rodillo los años siguientes, para continuar con la recuperación adecuada de los agostaderos mediante el uso de la tecnología transferida a los productores.

Ayala *et al.* (2014), realizaron un estudio sobre la rehabilitación y mejoramiento de hábitat para fauna silvestre mediante el uso del rodillo aireador en la región de Trincheras, Sonora, la comunidad vegetal en el sitio de estudio está caracterizada por ser Matorral Xerófilo y para esto se implementó un programa de desmonte total más siembra de semilla de zacate buffel. En cuanto a los resultados obtenidos la cobertura total de herbáceas, mantillo y suelo desnudo difirieron entre tratamientos comparados con los tratamientos de previo desmonte total con rodillo aireador ( $11 \pm 2\%$ ) y rodillo aireador ( $12 \pm 2\%$ ). La cobertura total de herbáceas resultó menor ( $P = 0.04$ ) en el control ( $29 \pm 1\%$ ) comparado con los tratamientos de previo desmonte total, previo desmonte total con rodillo aireador, con  $39 \pm 3\%$ ,  $46 \pm 5\%$ ,  $40 \pm 5\%$ , respectivamente. Los resultados después de la primera época de precipitación en la región muestran que los sitios sin previo disturbio cuentan con menor porcentaje de cobertura herbácea, indicando que los disturbios mecánicos previos han incrementado la cobertura en el sitio de estudio.

Carrero *et al.* (2015) utilizaron los métodos Olsen y Bray-Kurtz, para determinar fósforo disponible en suelos; para el estudio se utilizaron dos muestras compuestas obtenidas del Campo Experimental Mucuchíes-INIA. Los resultados obtenidos para la muestra con manejo agrícola fueron de 4.85 unidades de pH, 53.3 y 253.0 µg de P/g para los métodos Olsen y Bray-Kurtz, respectivamente. Para la muestra sin manejo agrícola se obtuvo 5.54 unidades de pH, 19,7 y 38,7 µg de P/g métodos por Olsen y Bray-Kurtz, respectivamente. Se evaluaron los coeficientes de variación para ambas metodologías resultando que el método más preciso para determinar fósforo en suelos en medios ácidos fue el de Bray- Kurtz.

En el noreste de México, la técnica del rodillo aireador se ha utilizado por varios años con muy buenos resultados. El ejemplo más notable, tanto por su duración, magnitud y resultados es el del Campo Santa María, de CEMEX. El Campo Santa María es un área de aproximadamente 12,000 ha, que se ubica en los límites de Coahuila y Nuevo León, dentro de los municipios de Lampazos, N. L. y Candela, Coahuila, al pie de la Sierra Pájaros Azules. Su clima es semiseco y cálido, con una temperatura anual promedio de 23.5 °C y una precipitación anual promedio de 550 mm., con tres tipos de vegetación: matorral submontano, chaparral tropical árido y pastizal. El sobrepastoreo en esta zona ha dejado el suelo desnudo, compactado en una superficie plana y dura que afecta la germinación de semillas y la sucesión vegetal. Entre 1996 y 1998 se realizaron trabajos de rehabilitación de estas tierras usando el rodillo aireador, seguido de una siembra de semilla de pastos nativos. Este rodillo remueve la parte leñosa de las plantas sin dañar el sistema radicular y fracturar el suelo, incrementando la retención e infiltración del agua. Este tratamiento no afecta la capa superior de la tierra ya que no voltea el suelo, permitiendo a las semillas de zacate permanecer cerca de la superficie del suelo y germinar. (Rubio, 2009).

En el corregimiento de Chimangual, municipio de Sapuyes, el suelo ha sido sometido a un sistema de labranza excesiva por varios años, se evaluó el efecto de dichas labranzas sobre algunas de las propiedades físicas del suelo. Esta zona está situada a una altura de 3150 msnm, temperatura 10° C

y una precipitación de 964 mm/año; las variables estudiadas fueron densidad aparente, conductividad hidráulica, porosidad total, distribución de poros y penetrabilidad bajo tres sistemas de labranza (convencional, reducida y mínima), en dos direcciones de surcado (a favor y en contra de la pendiente) en un terreno de ladera dedicado al cultivo de papa, en tres épocas de evaluación. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas. Al evaluar densidad aparente, conductividad hidráulica y porosidad total, no se presentaron diferencias estadísticas significativas, sin embargo al evaluar penetrabilidad se presentaron diferencias estadísticas significativas para la dirección de surcado, siendo el sistema de siembra a favor de la pendiente el que presentó mayor resistencia a la penetración en relación al sistema en contra de la pendiente. La mesoporosidad presentó diferencias estadísticas significativas para la interacción labranzas por dirección de surcado donde la labranza convencional en contra de la pendiente mostró mayores porcentajes de mesoporos. (Ceballos, 2009).

Berlanga (2009), realizó un estudio sobre la implementación del rodillo aireador donde se realizó la rehabilitación de 118 ha. de pastizales degradados en los ranchos "La Esmeralda" y "El Gavilán " municipio de Zaragoza Coah. en un matorral con dominancia de cenizo (*Leucophyllum texanum* Berl.) asociado a zacate navajita china (*Bouteloua trifida* Turbh.). Se realizó durante un año en áreas en las que se usó rodillo aireador en franjas a 60 m y resembradas con semilla de cuatro gramíneas nativas: navajita (*Bouteloua curtipendula gracilis* Willd. Ex Kunth.), banderilla (*Bouteloua curtipendula* Michx. Torr.), búfalo (*Buchloe dactyloides* Nutt.) y zacate amor (*Eragrostis trichodes* Nutt.), dejando franjas de 40 m sin tratar, con el propósito dejar espacios sin afectar para el desarrollo y hábitat de la fauna silvestre. Después de un año de que se realizó la rehabilitación en el rancho "La Esmeralda", se encontró que se ha modificado el coeficiente de agostadero a 2.3 ha/UA/ año para el área tratada y 5.3 para el área no tratada con una media de 3.2 ha/UA/año. Con respecto a las gramíneas los zacates banderilla y toboso (*Hilaria mutica* Kunth.) incrementaron su cobertura y producción de forraje y se observó la aparición del zacate punta

blanca (*Digitaria californica* Benth.). Con relación a la recuperación de la vegetación, casi se triplicó la densidad de plantas de 71 400 a 210 600 plantas/ha entre gramíneas herbáceas y arbustivas.

Michel (2015), realizó una investigación donde evaluó la transformación de matorrales desérticos a sabanas de zacate buffel en la región central de Sonora (RCS) evaluando los efectos de los almacenes de recursos del suelo. Para entenderlo, se seleccionaron parcelas en el matorral bajo el dosel de árboles de *Olneya tesota* (NA) y espacios abiertos sin cobertura vegetal aparente (NI), y en la sabana de buffel, bajo la misma especie de árbol (SA), inter-espacio (SI) y bajo el pasto Buffel (SB). Se analizó el nitrógeno total y las formas disponibles de este nutrimento en el suelo, así como contenido de agua en el suelo a diferentes profundidades durante cuatro años (2010-2013). Se encontró una pérdida anual de  $12.5 \text{ kg N ha}^{-1}$  debido a la transformación del ecosistema natural dominado por árboles y arbustos que generan islas de fertilidad e inter-espacios, a una sabana dominada por buffel e inter-espacios a sabana. La humedad del suelo indica que en la parte superficial del suelo, los espacios abiertos tienen más humedad, pero en la parte profunda de 150 a 200 cm la cubierta vegetal de los árboles y buffel almacenan más agua. Los resultados sugieren que el cambio de matorrales a sabanas de buffel ha disminuido los reservorios de nitrógeno y agua, e impactado las propiedades físicas del suelo, la fertilidad, los reservorios hídricos del suelo. El estudio sugiere que los cambios espaciales y temporales en nitrógeno y agua en el suelo repercutirán de manera importante en el balance hidrológico y funcionamiento del ecosistema transformado.

## JUSTIFICACIÓN

Coahuila es uno de los estados considerados ganaderos, donde se caracteriza por el aprovechamiento del ganado vacuno, debido al uso de este tipo de ganado existe una sobre explotación de las especies vegetales de la región, aunado a las extremas condiciones climáticas. entre los principales efectos por la explotación de ganado se deriva pérdidas de vegetación nativa, pérdidas de suelo por erosión, compactación de suelo, disminución de los pastizales, lo cual genera oportunidad para el desarrollo de otros especies, por tal motivo los pastizales han sufrido una transformación a matorrales, encontrándose una mayor presencia de especies como el mezquite (*Prosopis glandulosa*) y huizache (*Acacia spp.*), el cambio en las especies ha tenido efectos negativos en la fauna silvestre, en algunas áreas se han realizado proyectos de recuperación y reintroducción de fauna silvestre, dentro de los tratamientos de recuperación de hábitat se han utilizado tratamientos mecánicos. Dichas prácticas han tenido buenos resultados en la zona norteamericana, otro tratamiento utilizado es el de quemas prescritas, el cual ayuda a la eliminación de material combustible, para evitar incendios de mayores magnitudes, al igual que ayuda a depositar los minerales contenidos al suelo para su aprovechamiento por las plantas. Esta investigación tiene como objeto conocer el efecto que tienen los tratamientos mecánicos y el uso del fuego sobre el contenido de minerales en el suelo, para así poder tomar una decisión entre recomendar o no recomendar este tipo de prácticas en zonas similares.

## **HIPÓTESIS**

El contenido de macro y micronutrientes es mayor en suelos con tratamiento de rodillo aireador, debido al efecto que tiene el uso de esta práctica de mejoramiento de hábitat.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el contenido de macro y micronutrientes en suelos tratados con rodillo aireador e incendio natural en el matorral micrófilo y rosetófilo.

### **Específicos**

Evaluar la composición de macro y micronutrientes en los diferentes tratamientos de rehabilitación del hábitat.

Determinar cuál de los tratamientos es el adecuado para mejorar las características químicas del suelo.

## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### Caracterización del área de estudio

La presente investigación se realizó en la unidad de conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre (UMA). La unidad de manejo pilares que se encuentra aledaña a la reserva Maderas de Carmen, localizada entre los municipios de Ocampo, Múzquiz y Acuña. Geográficamente se ubica entre las coordenadas  $29^{\circ} 22.45''$  y  $28^{\circ} 42.21''$  N;  $102^{\circ}56.23''$  y  $102^{\circ}21.08''$  O a una altitud de 1182 msnm, con una precipitación media anual de 237.4 mm y temperatura promedio de  $21.5^{\circ}\text{C}$  (Medina, 2016) (Figura 1).

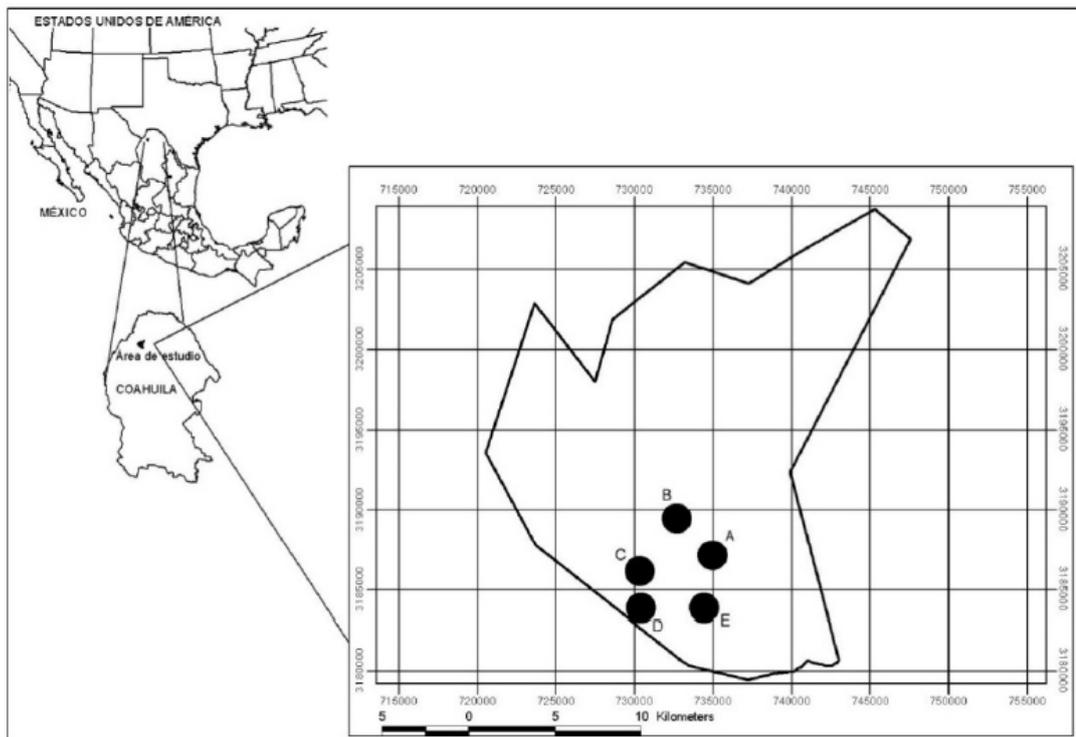


Figura 1. Ubicación del área de estudio, dónde: A= MDMt, B=RA04, C=RA08, D=RA11 y E=IN11.

## **Tipos de suelo y vegetación**

En el área de estudio se presentan distintos tipos de suelo los cuales son castañozem cálcicos, rendzinas, vertisoles crómicos, litosoles y regosoles calcáricos, los tipos de vegetación presentes son: bosques de encino (*Quercus*), pino (*Pinus*) y oyamel (*Abies*); matorral submontano, zacatal y matorral desértico chihuahuense, (matorral micrófilo, rosetófilo, comunidades gipsófilas y halófitas (INE-SEMARNAT, 1997).

## **Tratamientos empleados**

En la primavera de 2014 se seleccionaron cinco tratamientos dentro del matorral desértico micrófilo y cinco en el matorral desértico rosetófilo en un mismo tipo de suelo, regosol calcárico; los tratamientos fueron: 1) Testigo (MDt), 2) Rodillo aireador aplicado en 2004 (RA04), 3) Rodillo aplicado en 2008 (RA08), 4) Rodillo implementado en 2011 (RA11) y 5) Área incendiada en 2011 (IN11). En cada uno de los tratamientos se estableció una parcela georreferenciada con una superficie de 1024 m<sup>2</sup> (32 m X 32 m) para toma de muestras de suelo.

## **Regosol**

Regosol del griego reghos: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México, constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad (INEGI, 2004). Son suelos de muy baja evolución, algunos con un horizonte A ócrico o úmbrico (FAO, 1999). Su fertilidad natural normalmente es baja, excepto cuando su profundidad es considerable, entonces las especies forestales pueden desarrollarse adecuadamente si tienen un buen suministro de humedad.

## **Matorral desértico micrófilo**

La vegetación que se desarrolla en las regiones de clima seco de México se le conoce como matorral xerófilo, pero dentro de esta denominación general se incluyen numerosos tipos de vegetación, entre los que destaca el matorral desértico micrófilo, propio de terrenos planos.

El matorral desértico micrófilo agrupa las comunidades de plantas que denotan el carácter fisiológico a la vegetación corresponden a arbustos de hoja o foliolo pequeño. Estas agrupaciones son las que ocupan la mayor parte de la extensión de las regiones áridas de México. En el matorral desértico micrófilo predominan los elementos arbustivos de hoja pequeña que incluyen casi siempre a *Larrea tridentata* y *Flourensia cernua* (Rzedowski, 2006).

## **Matorral desértico rosetófilo**

El matorral desértico rosetófilo se caracteriza por la abundancia de individuos de especies con hojas gruesas y alargadas, a veces espinosas: *Agave lechuguilla* (lechuguilla), *Dasyllirion palmeri* (sotol) o bien inermes pero fibrosas: *Yucca carnerosana* (palma) dispuestas en roseta (Ugalde *et al.*, 2008) las cuales cubren más de 10 millones de hectáreas del país (Challenger, 2008).

## **Descripción del rodillo aireador**

El rodillo aireador utilizado como rehabilitador de suelos, consta de dos cilindros metálicos, compuesto por dientes o cuchillas soldadas a lo largo del cilindro para lograr una mayor penetración en el suelo y mayor eficiencia en el rodado. El implemento se engancha en la parte posterior de un bulldozer o tractor y es remolcado por la superficie que se desea rehabilitar. Este es usado comúnmente en la rehabilitación de agostaderos y praderas deterioradas mediante la descompactación de suelo, además de incrementar la infiltración y retención de agua útil para las plantas, normalmente cada rodillo es de 3.0 m de longitud, de 75 a 120 cm de diámetro, consta de 80 a 120 cuchillas y tiene un peso de 11 toneladas cuando están llenos de agua,

requieren de una maquina con 100 a 300 caballos de fuerza para poder arrastrarlo (Berlanga, 2009). El rodillo aireador que se utilizó fue un “Lawson aerator.”

Las ventajas de usar el rodillo aireador, es un método rápido para descompactar, airear el suelo, control temporal de especies indeseables en la superficie a restaurar, retención de agua, favorece a la infiltración en el perfil del suelo, reduce la velocidad de escurrimiento por consecuencia reduce la erosión hídrica creando condiciones adecuadas para regeneración natural de la vegetación, o para el establecimiento de especies deseadas.

## **MACRONUTRIENTES**

Los macronutrientes son minerales que se necesitan en mayor cantidad para los procesos metabólicos de las plantas, es por eso que es necesario conocer el estado nutrimental del suelo.

### **Fósforo (P)**

Es vital para crecimiento de la planta y se encuentra en cada célula vegetal viva. Se encuentra involucrado en varias funciones, incluida la transferencia de energía, fotosíntesis, transformación de azúcares y almidones, movimiento de nutrientes dentro de la planta y transferencia de características genéticas de una generación a la siguiente (Donald, 1999).

### **Calcio (Ca)**

El calcio es absorbido por las plantas en su forma catiónica  $Ca^{++}$  y es parte constituyente de las sales en la solución del suelo. En el interior de la planta es un elemento poco móvil interviniendo en la forma de los pectatos de calcio de la laminilla media de las células que intervienen en el proceso de absorción de los elementos. El calcio forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos del interior de las células regulando la presión osmótica de la misma. Interviene en la formación de la lecitina, que es el fosfolípido importante en la membrana celular, siendo un factor importante en la permeabilidad de estas membranas. Igualmente actúa en la división miótica

de las células, en el crecimiento de los meristemos y en la absorción de nitratos (Rodríguez, 1992).

### **Magnesio (Mg)**

Forma parte esencial de la molécula de clorofila y es necesario para la actividad de muchas enzimas, incluyendo aquellos pasos más importantes en la actuación del ATP. El magnesio se encuentra en el suelo en la forma no intercambiable, intercambiable y soluble (Rodríguez, 1992).

### **Potasio (K)**

Estimula el crecimiento radicular, aumenta la resistencia a la sequía y heladas, también disminuye la incidencia de plagas y enfermedades, tal nutriente es fundamental en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Imas, 2012)

## **MICRONUTRIENTES**

Los micronutrientes son elementos que se necesitan en pocas cantidades para los procesos metabólicos de las plantas, más sin embargo son importantes para las plantas.

### **Hierro (Fe)**

El Fe se encuentra en la naturaleza tanto en forma de Fe(III) como de Fe(II), dependiendo del estado redox del sistema. Su carencia se manifiesta primero en las hojas jóvenes pero también pueden aparecer en las más viejas. Se encuentra en condiciones reductoras, como  $Fe^{2+}$  y sus formas hidroxiladas  $Fe(OH)^{2-n}$  en la disolución del suelo (Kyrkby, 2007).

### **Manganeso (Mn)**

El Mn está presente en las plantas principalmente en forma divalente Mn(II). Esta forma de Mn se combina rápidamente con ligandos orgánicos, en los cuales puede ser rápidamente oxidado a Mn(III) y Mn(IV). Además, el Mn desempeña un importante papel en los procesos de redox, tales como en el transporte de electrones en la fotosíntesis y en la desintoxicación de radicales de oxígeno libres. El Mn forma metaloproteínas, que a su vez son

componentes de solo dos enzimas, la enzima que quiebra la molécula de agua en la fotosíntesis II (FS II) y superóxido dismutasa que contienen Mn. También es el activador de varias enzimas (Kyrkby, 2007).

### **Zinc (Zn)**

El Zn es un elemento de transición que no está sujeto a cambios de valencia y está presente en las plantas solamente con Zn(II). El elemento funciona principalmente como catión divalente en metaloenzimas, algunas de las cuales ligan las enzimas y sus correspondientes sustratos, mientras que en otros casos, el Zn forma complejos tetrahídricos con el N y el O, y particularmente ligados de S en una variedad de compuestos orgánicos. (Kyrkby, 2007).

### **Cobre (Cu)**

El Cu se parece en algo al Fe, debido que forma quelatos altamente estables que permiten la transferencia de electrones ( $\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \leftrightarrow \text{Cu}^+$ ). Por esta razón, desempeñan un papel comparable al del Fe en los procesos redox de la fisiología de la planta. Sin embargo, a diferencia de Fe, las enzimas que contienen Cu pueden reaccionar con oxígeno molecular y catalizan preferentemente procesos terminales de oxidación (Kyrkby, 2007).

## **METODOLOGÍA**

En la primavera de 2014 se seleccionaron cinco tratamientos en las áreas bajo manejo de hábitat de fauna silvestre, en el matorral desértico micrófilo y rosetófilo considerando un mismo tipo de suelo, regosol calcarico, los tratamientos son: Testigo1) MDMt, 2) Rodillo aireador aplicado en 2004 (RA04), 3) Rodillo aireador aplicado en 2008 (RA08), 4) Rodillo aireador aplicado en 2011 (RA11) y 5) Área incendiada en el 2011 (IN11). Este último fue producto de los incendios ocurridos en la primavera del 2011 en Coahuila, en donde se contabilizaron 1,899 ha de matorral afectadas, el área de estudio no presenta pastoreo de ganado bovino desde el 2000, solamente pastoreo de la fauna silvestre. Los tratamientos se distribuyeron de forma aleatoria en el área de estudio.

En cada parcela se obtuvieron 4 muestras de suelo a 2 profundidades (0-15 y 15-30cm) de 1.5 kg para el análisis de los macro y micronutrientes en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL. Las muestras se secaron a temperatura ambiente.

### **Método AS-10 extracción de fósforo**

Para la extracción del nutriente fósforo se utilizó el método AS-10, por el procedimiento de Olsen y colaboradores especificado en la Norma Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. El fósforo es extraído del suelo por una solución  $\text{NaHCO}_3$  en 1 litro de agua, ajustándose el pH de esta solución a 8.5 mediante la adición de  $\text{NaOH}$  1M.

### **Procedimiento del método AS-10**

Para este método se utilizó una solución de tartrato de antimonio y potasio al 0.5%. Para esto se pesó 0.5g de  $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ , se disolvió en un matraz volumétrico de 100 ml, se aforo con agua destilada.

Se preparó la solución de molibdato de amonio  $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$  disuelto en un matraz de un litro, solución reductora con ácido ascórbico, esta solución se prepara cada vez que se vaya a formar el color.

Para los cinco tratamientos se utilizaron 2 profundidades de suelo, de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm, con 4 muestras para cada tratamiento y su repetición en total fueron 160 ensayos, para esto se pesó 2.5 g de suelo, de cada muestra y su repetición, se le adiciono 50 ml de la solución extractora en un matraz, en seguida se agito durante 30 minutos en un agitador mecánico marca GFL, modelo D3006.

Después se filtró la solución utilizando papel filtro whatman número 42. Se tomó una alícuota de 5 ml del filtrado para la determinación del fósforo.

Se le agrego 5 ml de la solución reductora al paso de 30 minutos se realizó la lectura del elemento en un Fotocolorímetro con una longitud de onda de 882nm, para realizar la lectura se utilizó una curva patrón de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1  $\text{mg L}^{-1}$  de P (Figura 2).



Figura 2. Fotocolorímetro de longitud de onda 882nm

### **Cálculos para el método AS-10**

$$P(\text{mg Kg}^{-1} \text{ de suelo}) = cc * \frac{v_i}{p} * \frac{v_f}{a}$$

Dónde:

cc = mg L<sup>-1</sup> de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración.

v<sub>i</sub> = Volumen de la solución extractora adicionada.

P = peso de la muestra de suelo seca al aire.

v<sub>f</sub> = volumen final de la solución colorimétrica a leer.

a = alícuota de la muestra empleada para la cuantificación.

### **Método de extracción de macronutrientes con acetato de amonio (NH<sub>4</sub>Ac)**

Para la extracción de los macronutrientes (Potasio, Magnesio y Calcio) se usó el método de adición de Acetato de Amonio 1m (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) pH 7.0 (modificado), en este método la extracción es simultanea por intercambio catiónico (Woerner, 1989). Este método es muy conocido para la extracción

conjunta de macronutrientes en suelos neutros, alcalinos y calizos bajo uso agrícola.

## **Materiales**

Espátula, embudo de filtración rápida, frasco de plástico, frasco de vidrio, matraz aforación 2lt., matraz Erlenmeyer 125 ml, pipetas volumétricas 2, 5, 10 y 20 ml, papel filtro Whatman # 42, vaso de plástico, agitador mecánico, balanza digital y Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA).

## **Reactivos**

Solución de acetato de amonio 1M ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) se ajustó el pH 7.0, se disolvió 77.08g de acetato de amonio en 1l de agua destilada.

Solución de cloruro de lantano al 1% ( $\text{LaCl}_2$ )

Ácido clorhídrico concentrado (HCl)

Gas Acetileno tipo industrial. ( $\text{CH}_3\text{CH}_3$ )

Estándares de calibración para K, Mg y Ca

Soluciones stock  $1.000 \text{ mg L}^{-1}$  (K, Mg y Ca) para elaborar estándares de calibración de EAA.

Estándares de K, Mg, Ca y Na para la calibración del EAA:

Se prepararon soluciones de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  (K, Mg y Ca) diluido 10 ml de la soluciones stock de  $1.000 \text{ mg L}^{-1}$  respectivamente en 100 ml de agua destilada.

Además de los siguientes estándares en medio de solución de acetato- $\text{NH}_4$  añadiendo 50 ml de solución de cloruro de lantano para 100 ml de estándar.

Potasio: 1.5, 5.0, 10.0  $\text{mg L}^{-1}$  K

Calcio: 10.0, 15.0  $\text{mg L}^{-1}$  Ca

Magnesio: 0.5, 1.5, 3.0  $\text{mg L}^{-1}$  Mg

Solución de Acetato- $\text{NH}_4$

## Procedimiento

Se pesó 1g de suelo fino seco al aire en un matraz erlenmeyer de 125 ml. después se le añadió 20 ml de solución de acetato de amonio, se agitó durante 5 minutos con un agitador de velocidad constante, se dejó asentar durante unos minutos, enseguida se filtró con un papel filtro whatman No. 42. El material filtrado se depositó en un frasco de plástico.

Para la determinación del K, Mg y Ca solubles por emisión o absorción:

Se diluyo una alícuota de 10 ml del filtrado con 10 ml de solución de Cloruro de Lantano, juntando 1 ml de Ácido Clorhídrico concentrado para evitar la precipitación de cristales de Acetato de Lantano.

Se determinaron las diluciones, las concentraciones en  $\text{mg L}^{-1}$  de K en emisión y de Ca y Mg en absorción, utilizando estándares en solución de Acetato-NH<sub>4</sub>. Se procedió a la lectura en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Figura 3).



Figura 3. Espectrofotómetro de Absorción Atómica

## Calculo

K, Na, Ca, Mg ( $\text{mg L}^{-1}$ ):

$$\text{K, Na, Ca, Mg (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{C \cdot 20 \cdot 2}{P} * f$$

Dónde:

20 = volumen del extracto

2 = factor de dilución

p = peso de la muestra

f = factor de dilución para la medición con EAA.

## Valoración

Potasio Disponible en mg L <sup>-1</sup>	Magnesio disponible en mg L <sup>-1</sup>	Calcio disponible en mg L <sup>-1</sup>
< 90 deficiente	< 50 bajo	< 250 deficiente
90 - 130 .bajo	50 - 150 adecuado	250 - 750 bajo
130 - 175 adecuado	> 150 alto	750 - 2000 adecuado
175 - 300 alto		> 2000 alto
> 300 muy alto		

## Método de extracción de micronutrientes con DTPA-TEA

Los micronutrientes (Fierro, Manganeso, Zinc y Cobre) se obtuvieron mediante el uso de DTPA-TEA-CaCl<sub>2</sub> pH 7.3, según Lindsay/ Norvell (1978) (Woerner, 1989). La solución extractora de Ácido Dietilenotetraminopentacético (DTPA) 0.005M, Trietanolamina (TEA) 0.01M y Cloruro de Calcio 0.01M (CaCl<sub>2</sub>): para tres litros de solución, disolver 39.75 ml de TEA, 14.75 gr. de DTPA en solución de 40% o 5.98 gr de DTPA sólido, 4.42 de CaCl<sub>2</sub> y 15 ml de Ácido Clorhídrico concentrado (HCl) en un litro de agua destilada.se diluyo en tres litros de agua destilada con un pH ajustado a 7.3 con HCl (6M).

## Materiales

Espátula, embudo de filtración rápida, frasco de plástico, frasco de vidrio ámbar, matraz graduado a 2lt., matraz Erlenmeyer 125 ml, pipetas volumétricas 2, 5, 10 y 20 ml, papel filtro whatman # 42, vaso de plástico,

agitador mecánico, balanza digital y espectrofotómetro de absorción atómica.

## Reactivos

Ácido dietilenotetraminopentacético (DTPA) 0.005M, trietanolamina (TEA) 0.01M y cloruro de calcio 0.01M ( $\text{CaCl}_2$ ), 39.75 ml de TEA, 14.75 gr. de DTPA en solución de 40, 4.42 de  $\text{CaCl}_2$  y 15 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl), gas acetileno tipo industrial ( $\text{CH}_3\text{CH}_3$ ), agua destilada, estándares de calibración para Fe, Mn, Zn y Cu: soluciones stock de 1.00  $\text{mg L}^{-1}$  (Fe, Mn) y 500  $\text{mg L}^{-1}$  (Zn, Cu) para elaborar estándares del EAA.

Se transfirió 1.00 gr de Hierro metálico (Fe), 1.00 gr de manganeso metálico (Mn), 2.27 gr de nitrato de zinc ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ) y 0.50 gr de cobre metálico (Cu) respectivamente en matraces volumétricos de 1 lt.

Se disolvió el nitrato de zinc en agua destilada, el hierro y el manganeso en 5-10 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl) respectivamente y el cobre en 5 a 10 ml de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ ), se dejó un tiempo adecuado hasta que se diluyó completamente, por último se aforo en matraz de 1lt.

Los estándares de Fe, Mn, Zn y Cu para la calibración del EAA. Se prepararon soluciones de 100  $\text{mg L}^{-1}$  (Fe, Mn) y 50  $\text{mg L}^{-1}$  de (Zn, Cu) se diluyó 10 ml de la solución estándar de 1.000  $\text{mg L}^{-1}$  (Fe, Mn) y 500  $\text{mg L}^{-1}$  (Zn, Cu) en 100 ml de agua destilada.

Se prepararon los siguientes estándares en medio de solución extractora de DTPA, TEA y  $\text{CaCl}_2$ :

Fierro: 2.0, 5.0, 10.0  $\text{mg L}^{-1}$  Fe

Manganeso: 5.0, 10.0, 20.0  $\text{mg L}^{-1}$  Mn

Zinc: 0.5, 1.0, 2.0  $\text{mg L}^{-1}$  Zn

Cobre: 5.0  $\text{mg L}^{-1}$  Cu

Solución extractora de DTPA, TEA y  $\text{CaCl}_2$

## Procedimiento

Se pesó 10 gr de suelo fino seco al aire en un matraz Erlenmeyer de 125 ml de cada muestra se le añadieron 20 ml de solución extractora de DTPA, TEA y  $\text{CaCl}_2$ , se agitó durante 2 horas con un agitador de velocidad constante. Se filtró con papel Whatman No. 42 en un frasco de plástico.

Se determinaron los elementos Fe, Mn, Zn y Cu solubles por absorción: mediante la calibración de los estándares de cada elemento.

## Cálculos

$$\text{Fe, Mn, Zn y Cu (mg L}^{-1}\text{)} = C * 2 * f$$

Dónde:

C =  $\text{mg L}^{-1}$  de Fe, Mn, Zn y Cu leídos en el EAA

2 = factor de dilución

f = factor de dilución para la medición con el EAA.

## Valoración de los micronutrientes

Hierro disponible en  $\text{mg L}^{-1}$ :

< 2.0 bajo

2.0 – 4.0 marginal

> 4.0 adecuado

Zinc disponible en ppm:

< 1.0 bajo

1.0 - 1.5 marginal

> 1.5 adecuado

Manganeso disponible en  
ppm:

< 1.8 bajo

> 1.8 adecuado

Cobre disponible en ppm:

< 0.5 bajo

> 0.5 adecuado

## ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Con los resultados obtenidos se formó una base de datos de las muestras de macro y micronutrientes, por tipo de vegetación (MDM y MDR), profundidad (0-15 y 15-30 cm) y por tratamiento (TESTIGO, RA04, RA08, RA11 e IN11).

Se realizó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov en el cual solo las muestras de magnesio (Mg) mostraron una distribución normal. Se realizaron transformaciones para las variables. Para el caso del fósforo(P), potasio (K) y Zinc (Zn) se les realizó una transformación mediante el logaritmo natural (ln). Los nutrientes manganeso (Mn), y cobre (Cu) se transformaron mediante la operación  $1/X$ , y solo para el hierro (Fe) se utilizó la transformación por raíz cuadrada de la proporción. En el caso del calcio (Ca) no mostró una distribución normal por lo tanto se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Una vez normalizado los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 16.0. Para cada parámetro de suelo estudiado se ejecutó un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias entre los contenidos de nutrientes por los tipos de vegetación, profundidad y tratamientos, así como su interacción, considerando un nivel de significancia de 5% ó 0.05.

Debido a que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para encontrar los grupos diferenciados.

## RESULTADOS

### Macronutrientes

#### Calcio (Ca)

De acuerdo a la clasificación del contenido de calcio tanto para el matorral desértico micrófilo (MDM) y matorral desértico rosetófilo (MDR), el contenido de este mineral se encuentra en condiciones óptimas, sin embargo, en el tratamiento RA11 de la profundidad de 15-30 cm del MDR se encontró la mayor concentración de Ca ( $51155.83 \text{ mg L}^{-1}$ ). El contenido más bajo se encontró en el testigo de 0-15cm ( $29061.85 \text{ mg L}^{-1}$ ) en el matorral desértico rosetófilo (Tabla 1).

Tabla 1. Valores medios de calcio para los tratamientos empleados para cada tipo de vegetación.

Tratamiento/ Profundidad	MDM ( $\text{mg L}^{-1}$ )	MDR ( $\text{mg L}^{-1}$ )
TEST-0/15	40255.70	29061.85
TEST-15/30	39828.95	34008.88
RA04-0/15	41605.53	41029.33
RA04-15/30	42765.23	43399.75
RA08-0/15	42306.33	39635.13
RA08-15/30	39578.68	42771.03
RA11-0/15	42626.55	51155.83
RA11-15/30	38413.70	52946.35
IN11-0/15	31884.93	44732.95
IN11-15/30	34380.90	44784.30

#### Fósforo (P)

De acuerdo al método de Olsen y colaboradores, el contenido de fósforo se clasifica en tres clases, bajo, medio y alto (Tabla 2) (Woerner, 1989).

Tabla 2. Clasificación según los  $\text{mg L}^{-1}$  de Fósforo en el suelo.

Clase	$\text{mg L}^{-1}$ de P
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 - 11
Alto	> 11

Los resultados de contenido de fósforo para cada tratamiento del matorral desértico micrófilo y rosetófilo de acuerdo con la tabla anterior, se clasificaron de la siguiente manera (tabla 3). Las muestras de 0-15 cm de profundidad para el MDM y MDR presentan las mejores concentraciones de fósforo en todos los tratamientos en comparación a los de 15-30 cm, sin embargo entre los dos tipos de vegetación, la mayor concentración de fósforo se localizó en el MDR en el tratamiento RA11 de 0-15 con 38.81 mg L<sup>-1</sup> y el menor en el RA0815-30 (7.28 mg L<sup>-1</sup>) cm en el MDR.

Tabla 3. Contenido de fósforo en los distintos tratamientos del MDM yMDR.

Tratamiento/ Profundidad	MDM (mg L <sup>-1</sup> )	MDR (mg L <sup>-1</sup> )
TEST-0/15	19.34	13.69
TEST-15/30	8.46	9.34
RA04-0/15	19.45	21.13
RA04-15/30	10.79	13.27
RA08-0/15	20.71	16.17
RA08-15/30	12.93	7.28
RA11-0/15	23.27	38.81
RA11-15/30	12.28	12.36
IN11-0/15	32.66	28.19
IN11-15/30	12.93	11.71

### Magnesio (Mg)

Los resultados medios de magnesio (Mg) para todos los tratamientos se encontraron en condiciones altas, en cuanto al mayor contenido se encontró en el tratamiento RA11(1596.93 mg L<sup>-1</sup>) en la profundidad 0-15 cm para el MDM, en la capa que permite mayor aprovechamiento por la vegetación, el contenido más bajo se encontró en elTEST-15/30 cm 570.71 mg L<sup>-1</sup> para el MDM seguido del RA040-15 cm con 677.31 mg L<sup>-1</sup>(Tabla 4).

Tabla 4. Datos medios del contenido de Magnesio (Mg) para el MDM y MDR

Tratamiento/ Profundidad	MDM (mg L <sup>-1</sup> )	MDR (mg L <sup>-1</sup> )
TEST-0/15	869.21	1054.66
TEST-15/30	570.71	971.93
RA04-0/15	677.31	1014.32
RA04-15/30	705.48	1508.81
RA08-0/15	842.92	1381.85
RA08-15/30	866.81	1106.86
RA11-0/15	1596.93	760.25
RA11-15/30	1371.96	855.34
IN11-0/15	999.68	1344.40
IN11-15/30	994.85	1128.63

#### Potasio (K)

El contenido de potasio (K) al igual que los otros macronutrientes se encontró en condiciones óptimas en todas las muestras, pero el tratamientos que presento un mayor valor para este elemento es el IN11 de 0-15 cm (7468.71 mg L<sup>-1</sup>) para el MDR y el RA11 de 0-15 cm (7115.36 mg L<sup>-1</sup>) para el MDM, el contenido más bajo se encontró en el RA04 en la profundidad de 15-30 cm para ambos tipos de vegetación con valores de 552.48 mg L<sup>-1</sup>. para el MDM y 491.64 mg L<sup>-1</sup> para el MDR(Tabla 5).

Tabla 5. Contenido promedio de fósforo (P) para el MDM y MDR para todos los tratamientos.

Tratamiento/ Profundidad	MDM (mg L <sup>-1</sup> )	MDR (mg L <sup>-1</sup> )
TEST-0/15	1086.87	945.53
TEST-15/30	2198.07	1027.13
RA04-0/15	1094.82	1336.70
RA04-15/30	552.48	491.64
RA08-0/15	2245.00	875.95
RA08-15/30	954.52	2519.49
RA11-0/15	7115.36	2026.09
RA11-15/30	5520.99	1621.45
IN11-0/15	1359.30	7468.71
IN11-15/30	1091.65	7602.96

## Micronutrientes

Los micronutrientes: se les clasifico de acuerdo a la cantidad disponible en el suelo para las plantas, para el Matorral desértico rosetófilo y micrófilo.

### Hierro (Fe)

El hierro se encontró en mayor cantidad en el RA11 en la profundidad 0-15 cm en el MDM (2.2668 mg L<sup>-1</sup>) y en el caso del MDR se obtuvo la mejor concentración de Fe en tratamiento IN11 con profundidad 0-15 cm (2.1973 mg L<sup>-1</sup>), el contenido más bajo se encontró en el RA08 con profundidad 15-30 cm para el MDM 0.3895 mg L<sup>-1</sup> (tabla 6). De acuerdo a la clasificación de contenido de Fe los valores menores a 2 mg L<sup>-1</sup> se encuentran en bajo contenido del mineral, arriba de 2 mg L<sup>-1</sup> en condición marginal, para este mineral no se encontró contenido adecuado.

Tabla 6. Resultados promedios de los tratamientos del hierro(Fe) para el MDM y MDR.

Tratamiento/ Profundidad	MDM (mg L <sup>-1</sup> )	MDR (mg L <sup>-1</sup> )
TEST-0/15	1.7108	0.4588
TEST-15/30	0.8493	0.4548
RA04-0/15	1.2890	0.9378
RA04-15/30	1.1090	1.1610
RA08-0/15	1.2018	0.9530
RA08-15/30	0.3895	0.9858
RA11-0/15	2.2668	1.8410
RA11-15/30	1.5710	1.0490
IN11-0/15	1.6670	2.1973
IN11-15/30	1.2638	1.1588

## Cobre (Cu)

El contenido de cobre se encontró en mejor condición en el RA11 en la profundidad de 0-15cm dentro del MDM (0.4130 mg L<sup>-1</sup>) y en el MDR fue en el IN11 0-15 cm (0.3208mg L<sup>-1</sup>), de acuerdo a la clasificación del contenido de Cu los valores menores a 0.5 mg L<sup>-1</sup> tienen una disponibilidad baja y los mayores a 0.5 mg L<sup>-1</sup> en condiciones adecuada.

Tabla 7. Resultados promedio de Cu para los tratamientos analizados

Tratamiento/ Profundidad	MDM (mg L <sup>-1</sup> )	MDR (mg L <sup>-1</sup> )
TEST-0/15	0.1998	0.1118
TEST-15/30	0.0933	0.0863
RA04-0/15	0.3213	0.1108
RA04-15/30	0.1298	0.1203
RA08-0/15	0.2525	0.0755
RA08-15/30	0.1243	0.0725
RA11-0/15	0.4130	0.2065
RA11-15/30	0.2985	0.1060
IN11-0/15	0.1833	0.3208
IN11-15/30	0.1880	0.2548

## Manganeso (Mn)

El tratamiento con mayor contenido de manganeso (Mn) fue el RA11 de 0-15 cm para el MDM (11.8235 mg L<sup>-1</sup>) y para el MDR fue el IN en 0-15 cm (2.8148 mg L<sup>-1</sup>), de acuerdo a la clasificación de este micronutriente los valores encontrados por debajo de 1.8 mg L<sup>-1</sup> presentan bajo contenido de este mineral, y mayores a 1.8 mg L<sup>-1</sup> presentan condiciones adecuadas (Woerner, 1989).

Tabla 8. Valores promedios de Mn los tratamientos del MDM y MDR

Tratamiento/ Profundidad	MDM (mg L <sup>-1</sup> )	MDR (mg L <sup>-1</sup> )
TEST-0/15	5.5670	1.7443
TEST-15/30	3.2183	2.2713
RA04-0/15	3.5533	2.2070
RA04-15/30	3.0198	1.8010
RA08-0/15	5.9720	1.3085
RA08-15/30	2.2983	1.2448
RA11-0/15	11.8235	2.0918
RA11-15/30	8.4010	1.4893
IN11-0/15	4.4875	2.8148
IN11-15/30	5.5673	1.9205

#### Zinc (Zn)

El contenido de zinc (figura 9) se presentó en mayor cantidad en el tratamiento RA11-0-15 cm para los dos tipos de vegetación (MDM y MDR) con valores de 2.5952 mg L<sup>-1</sup> y 2.1088 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. El menor contenido en el MDM se presentó en el RA08 0-15 cm (0.3252 mg L<sup>-1</sup>) y para el MDR en el tratamiento IN11 en la profundidad 15-30 cm (0.5167 mg L<sup>-1</sup>), de acuerdo a la clasificación del contenido de Zn los valores por debajo de 1 mg L<sup>-1</sup> son considerados como bajos, entre 1 y 1.5 mg L<sup>-1</sup> marginal, y arriba de 1.5 mg L<sup>-1</sup> adecuado (Woerner, 1989).

Tabla 9. Contenidos medios de Zn para los tratamientos realizados en MDM y MDR

Tratamiento/ Profundidad	MDM (mg L <sup>-1</sup> )	MDR (mg L <sup>-1</sup> )
TEST-0/15	1.3820	0.7708
TEST-15/30	0.3845	0.6790
RA04-0/15	0.8681	0.9174
RA04-15/30	0.4909	0.5989
RA08-0/15	1.0668	0.9317
RA08-15/30	0.3252	1.1003
RA11-0/15	2.5952	2.1088
RA11-15/30	2.0066	0.9645
IN11-0/15	1.5429	2.0107
IN11-15/30	1.0424	0.5167

## **ANOVA**

El análisis del efecto en los contenidos de macronutrientes y micronutrientes para los dos tipos de vegetación analizados (MDM y MDR), así como en los 5 tratamientos (testigo, RA04, RA08, RA11 e IN11) y en las dos profundidades (0-15 y 15-30 cm), así como las interacciones entre estos tres factores se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados del ANOVA para las variables analizadas.

<b>ANOVA</b>	<b>gl</b>	<b>P</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>
Vegetación (VEG)	1	0.806 <sup>NS</sup>	8.141**	0.019 <sup>NS</sup>	159.033**	0.112 <sup>NS</sup>	69.650**	5.373*
Tratamiento (TRAT)	4	7.898**	3.118*	10.261**	9.206**	12.293**	34.843**	11.761**
Profundidad (PROF)	1	86.536**	0.647 <sup>NS</sup>	1.412 <sup>NS</sup>	7.185**	37.541**	34.735**	16.810**
Vegetación * Tratamiento	4	4.734**	14.456**	10.366**	4.507**	2.868*	16.244**	5.283**
Vegetación * Profundidad	1	2.460 <sup>NS</sup>	0.741 <sup>NS</sup>	2.378 <sup>NS</sup>	0.009 <sup>NS</sup>	0.398 <sup>NS</sup>	3.582 <sup>NS</sup>	1.770 <sup>NS</sup>
Tratamiento * Profundidad	4	2.805*	1.930 <sup>NS</sup>	1.756 <sup>NS</sup>	1.187 <sup>NS</sup>	1.006 <sup>NS</sup>	3.230*	1.457 <sup>NS</sup>
VEG * TRAT * PROF	4	3.064*	1.728 <sup>NS</sup>	2.009 <sup>NS</sup>	2.390 <sup>NS</sup>	3.211*	4.705**	1.820 <sup>NS</sup>
Prueba de Levene	19	2.183*	1.232 <sup>NS</sup>	3.301**	2.613**	2.305**	3.425**	2.910**
R <sup>2</sup> ajustada		0.647	0.489	0.510	0.733	0.550	0.804	0.522

Valores de  $p \geq 0.05$  no significativo (<sup>NS</sup>),  $\leq 0.05$  significativo (\*) y  $\leq 0.01$  altamente significativo (\*\*).

Para el caso del calcio que no presento una distribución normal se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, se encontró que existen diferencias entre los tipos de vegetación con las profundidades del suelo.

Tabla 11. Resultado de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis

Vegetación	Profundidad (cm)	H.	Sig.
MDM	0-15	11.686	0.020
	15-30	14.557	0.006
MDR	0-15	14.771	0.005
	15-30	8.357	0.079

Se realizó pruebas de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para agrupar las diferencias existentes entre los nutrientes analizados y los diferentes tratamientos empleados.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el contenido de fosforo para las muestras de 0-15 cm para el matorral desértico micrófilo (MDM) se encontraron dos grupos de diferencias significativas, entre los tratamientos que obtuvieron dicha diferencia se encontraron el tratamiento IN11 con bajo contenido de fosforo al contrario del tratamiento RA11 con el mayor contenido de fosforo con respecto a los tratamientos TEST, R04 y R08 no mostraron diferencias significativas entre si (Figura 4). Los tratamientos de 15-30 cm en el matorral desértico rosetófilo los tratamientos no mostraron diferencias significativas, para el caso de las profundidades de las muestras el contenido de fosforo fue mayor en las muestras de 0-15 cm con excepción del tratamiento IN11.

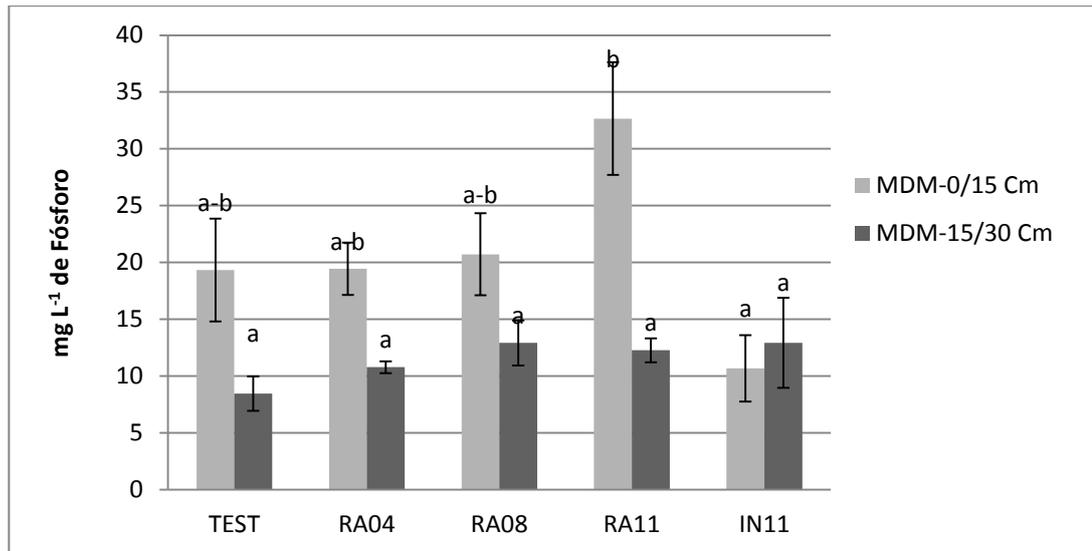


Figura 4. Valores medios de fósforo para el MDM 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

Los resultados de la prueba de tukey para el fósforo (P) en el caso de la profundidad 0-15 cm mostraron cuatro grupos (a,b,c,d), el testigo (TEST) mostro diferencias significativas con los tratamientos RA04, RA11 e IN11 pero no con el tratamiento RA08, el RA04 no mostro diferencia significativa con el tratamiento RA08, pero si con los demás tratamientos, los tratamientos RA11 e IN11 mostraron diferencias entre los otros tratamientos pero no entre sí, para los tratamientos del MDR con profundidad de 15-30 cm solo se encontró diferencia significativa entre los tratramientos R04 y R08. entre las profundidades el contenido de fosforo se observó en mayores concentraciones en los tratamiento con profundidad de 0-15 cm en todos los caso. (Figura 5).

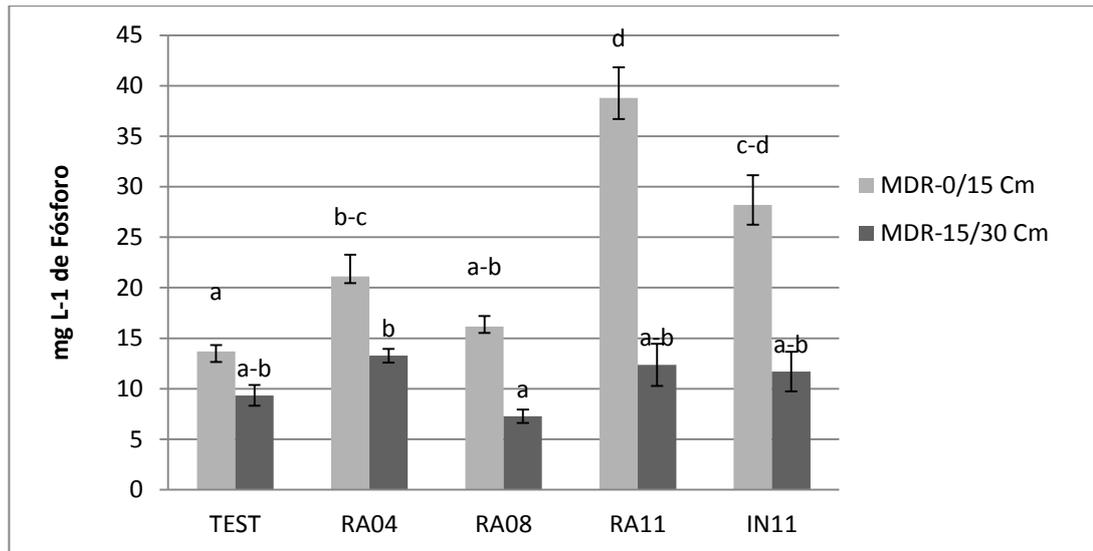


Figura 5. Valores medios de fósforo para el MDR 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

Para el caso de las muestras de magnesio, en la profundidad de 0-15 cm los tratamientos TEST, RA04 y RA08 no mostraron diferencias significativas entre si, pero si con los tratamientos RA11 e IN11, en cuanto a los tratamientos de 15-30 cm solo se encontró diferencia significativa entre el tratamiento TEST y los tratamientos RA04, RA08, RA11 e IN11. Con respecto a las profundidades se encontró mayor contenido de magnesio en muestras de 0-15cm contratamientos TEST, RA11 e IN11 para las profundidades de 15-30 cm las concentraciones de magnesio fueron mayores en los tratamientos RA04 y RA08 (Figura 6).

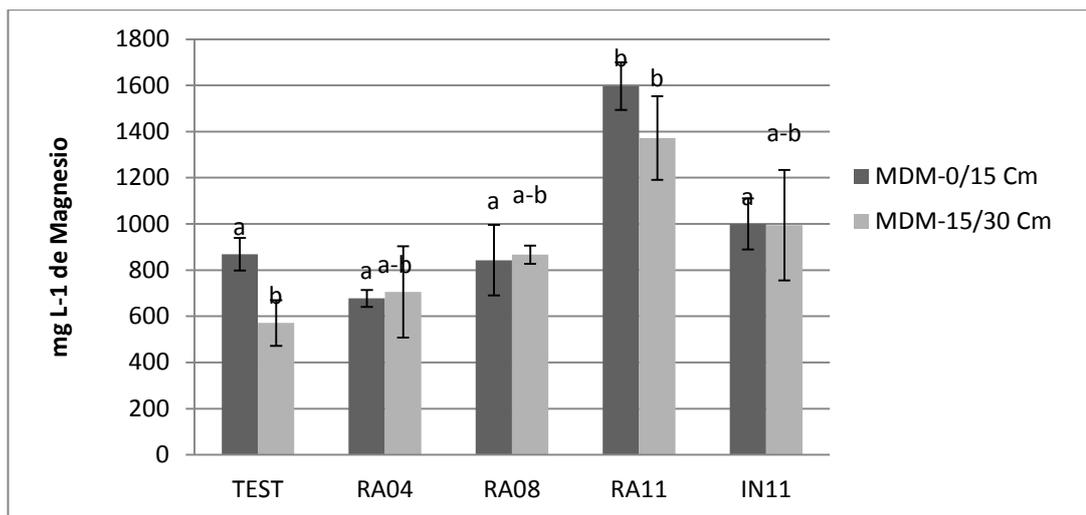


Figura 6. Valores medios de Magnesio para el MDM 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

De acuerdo a los resultados de la prueba de tukey para el matorral desértico rosetófilo para nutriente magnesio, en la profundidad de 0-15 cm no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos TEST, RA04 y RA11, al igual que entre el RA11 e IN11, pero si se encontró diferencia significativa entre estos dos grupos. En la profundidad de 15-30 cm no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, en cuanto a las profundidades los tratamientos TEST, RA08 e IN11 mostraron mayor contenido de magnesio en muestras de 0-15 cm, al igual que RA04 y RA011 en muestras de 15-30 cm. (Figura 7).

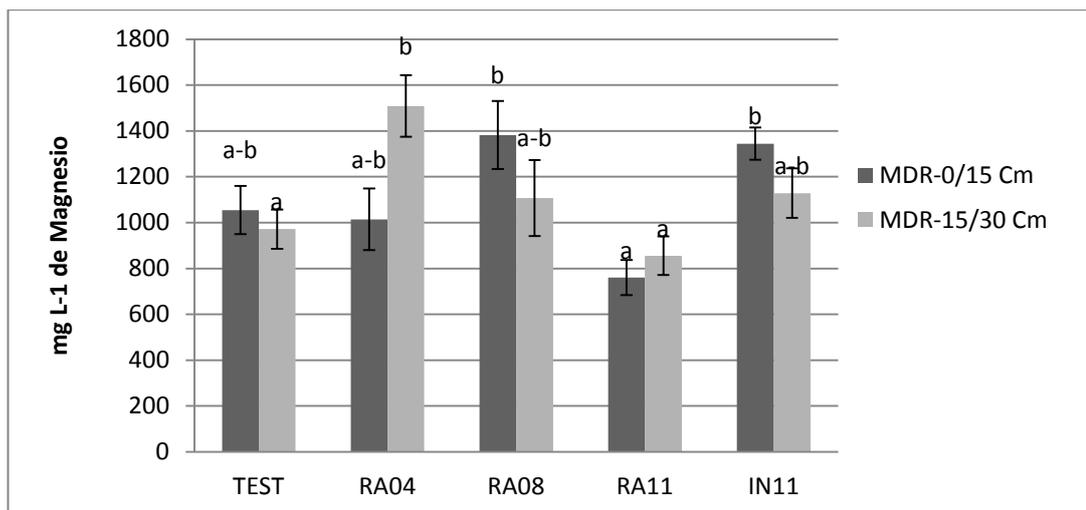


Figura 7. Valores medios de Magnesio para el MDR- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

Para el caso del potasio en el matorral desértico micrófilo en las muestras de 0-15 cm no hubo diferencia significativa entre los tratamientos TEST, RA04, RA08 e IN11, se encontró diferencia significativa entre el tratamiento RA11 y los demás tratamientos. Para la profundidad de 15-30 cm se encontró diferencias significativas entre el RA11 con el grupo TEST, RA04, RA08 e IN11. entre las profundidades las mejores concentraciones de potasio se encontraron en los tratamientos RA11, RA04, RA08 e IN11 de 0-15cm y TEST de 15-30cm (Figura 8).

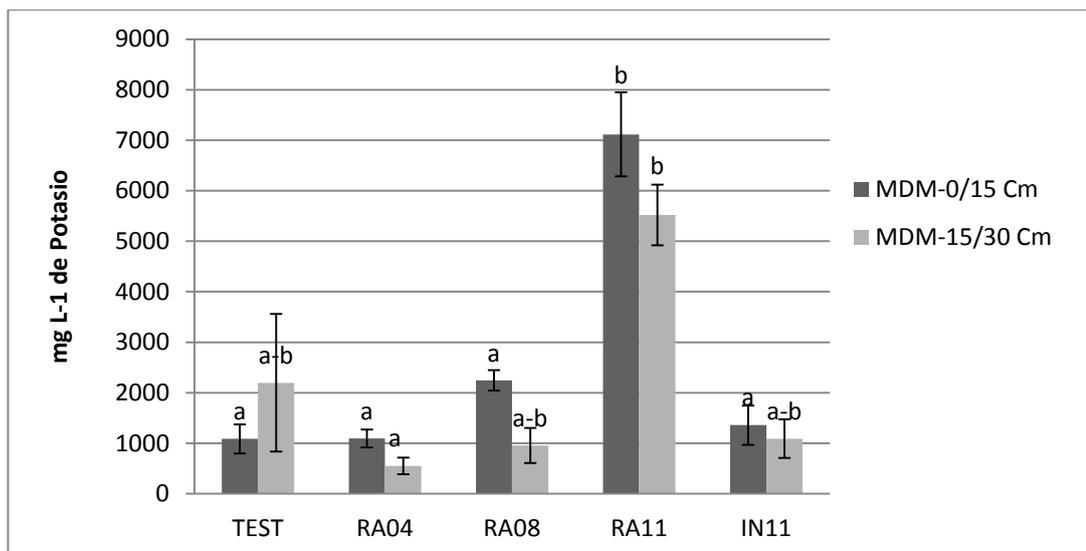


Figura 8. Valores medios de Potasio para el MDM- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

En cuanto al matorral desértico rosetófilo en las muestras de 0-15cm se encontró diferencia significativa entre el IN11 y el grupo de tratamientos TEST, RA04, RA08 e IN11, para el caso de las muestras de 15-30cm se encontró diferencia significativa entre IN11 y TEST, los tratamientos RA04, RA08 e IN11 se encontraron en ambos grupos, en cuanto a la profundidad los tratamientos con mayor contenido de potasio fueron TEST, RA04 e IN11 en muestras de 0-15cm y RA04 e IN11 de 15-30cm (Figura 9).

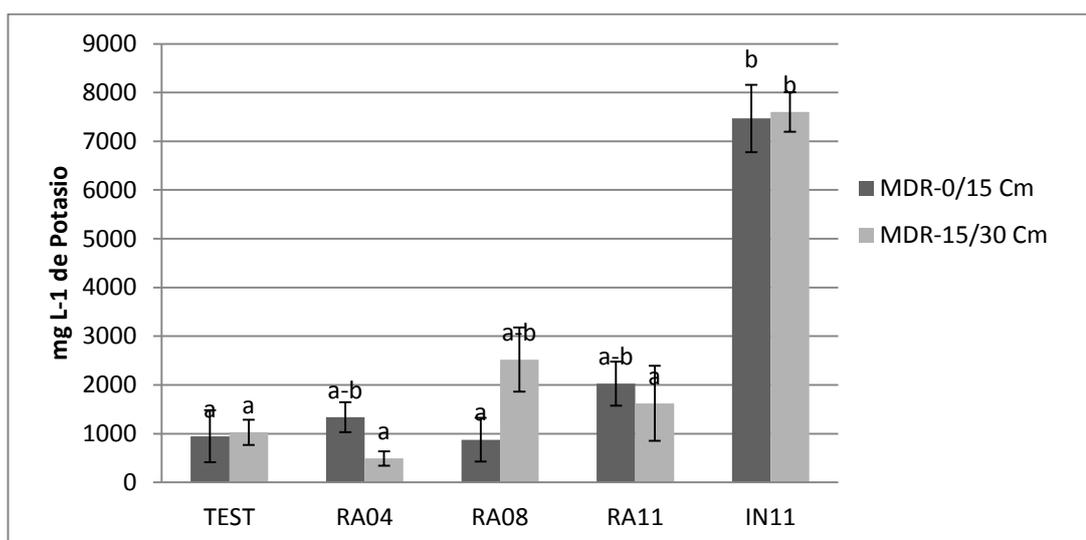


Figura 9. Valores medios de Potasio para el MDR- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

Dentro del matorral desértico micrófilo en la profundidad de 0-15 cm para el nutriente manganeso se encontró diferencias significativas entre RA11 y RA04, los tratamientos TEST, RA08 e IN11 se encontraron en ambos grupos. en cuanto a las muestra de 15-30 cm se encontraron diferencias significativas entre el grupo de tratamientos TEST, RA04 y RA08,RA11,IN11. En cuanto a la profundidad los tratamientos con mejores concentraciones de manganeso fueron TEST, RA04, RA08, RA11 de 0-15cm e IN11 de 15-30cm (Figura 10).

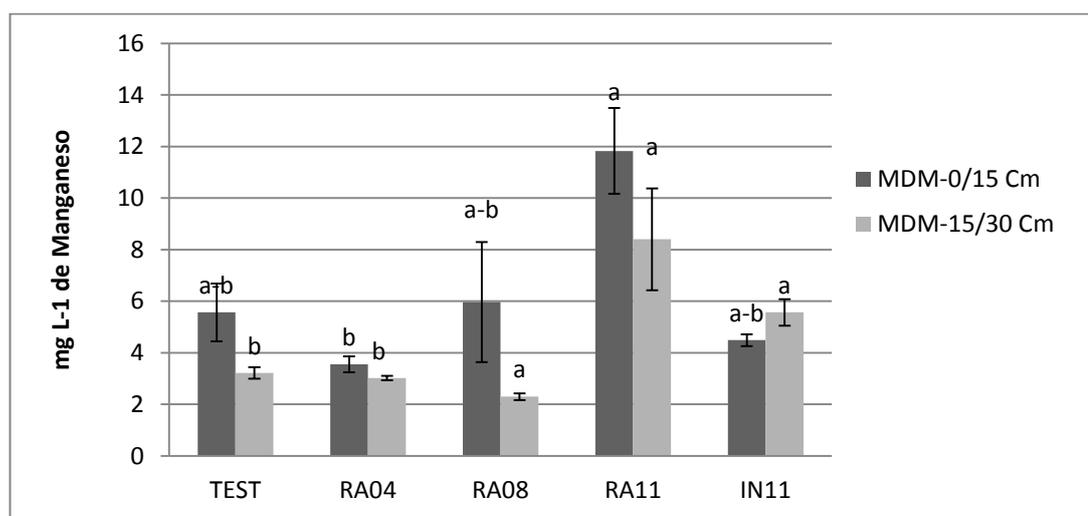


Figura 10. Valores medios de Manganeso para el MDM 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

De acuerdo a los resultados de la prueba de tukey para el matorral desértico rosetófilo en muestras de 0-15cm para el nutriente manganeso mostro diferencias significativas entre RA08 y el grupo de tratamientos RA04,RA11 e IN11, el TEST se presentó en ambos grupos. para las muestras de 15-30cm se encontró diferencias significativas entre el TEST y el RA08, los tratamientos RA04, RA11 e IN11 no mostraron diferencias significativas entre los demás tratamientos. En cuanto a la profundidad las mejores concentraciones de manganeso se presentaron en los tratamientos RA04, RA08, RA11, IN11 de 0-15cm y TEST de 15-30cm (Figura 11).

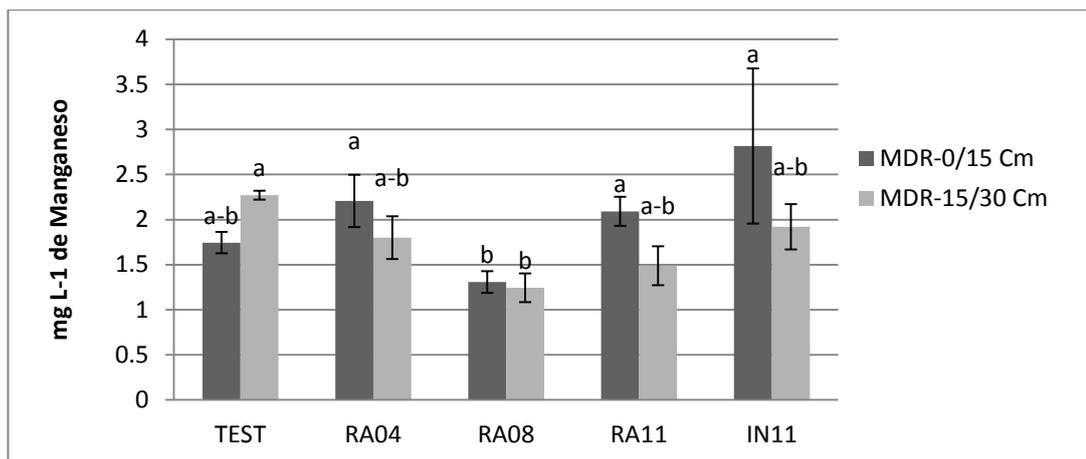


Figura 11. Valores medios de Manganeso para el MDR- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

En el caso del nutriente zinc, las muestras de 0-15 cm no mostraron diferencias entre tratamientos, por caso contrario de 15-30 cm se encontraron 2 grupos, presentando diferencias el RA11 e IN11 (Figura 12).

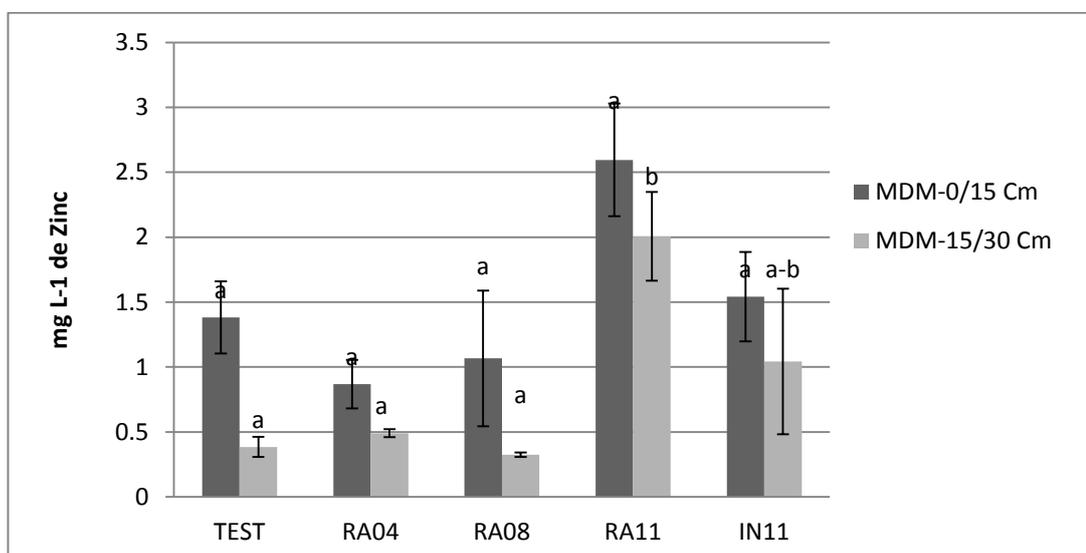


Figura 12. Valores medios de Zinc para el MDM- 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

Entre los tratamientos el RA11 y el IN11 mostro mayor diferencia en comparación a los otros tratamientos empleados para el caso del MDR 0-15 cm de profundidad para el caso de MDR 15-30 cm los tratamientos no

mostraron diferencia significativa, el testigo mostró las menores cantidades de nutriente en ambas vegetaciones y profundidades (Figura 13).

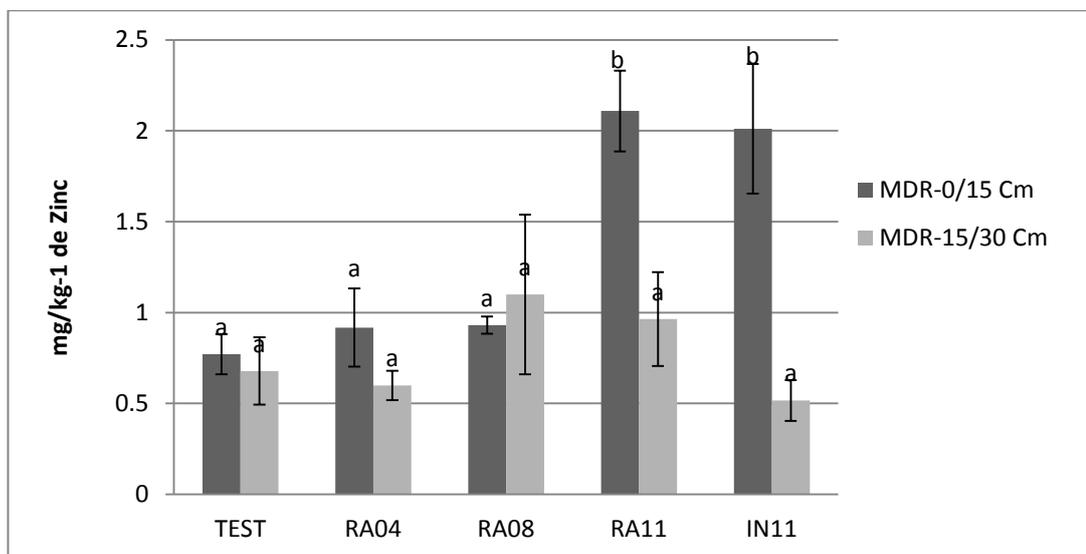


Figura 13. Valores medios de Zinc para el MDR 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

Las mejores concentraciones de cobre se encontraron en los tratamientos RA11 e IN11, todos los tratamientos del MDM de 0 a 15 cm presentaron mayor contenido de cobre en comparación de los MDM 15-30 cm (Figura 14).

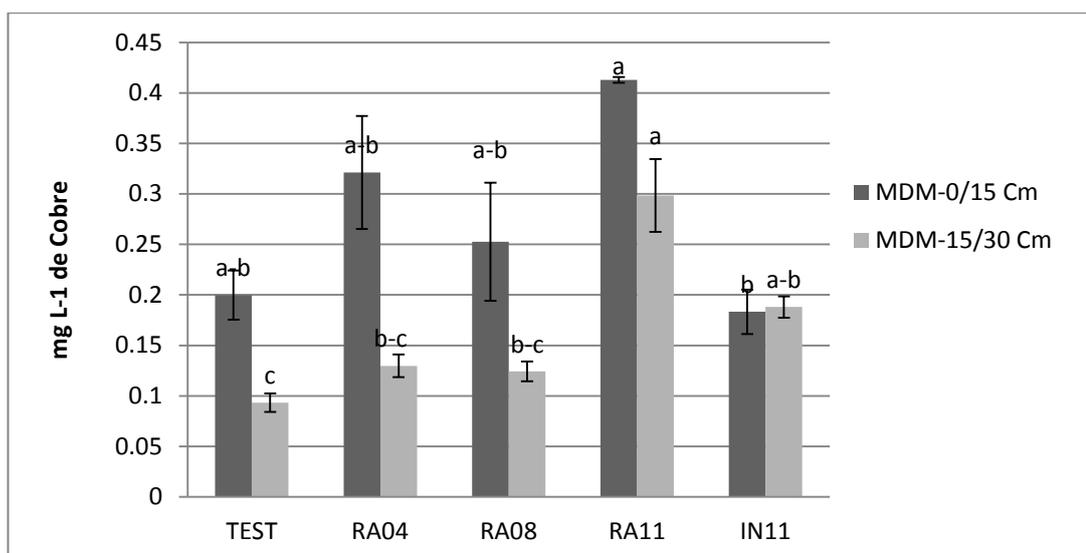


Figura 14. Valores medios de Cobre para el MDM 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

Los tratamientos testigo de MDR 0-15 y 15-30 cm se encontraron en condiciones similares al igual que el RA04 para ambas profundidades, los valores más altos fueron de los tratamientos RA11 e IN11 (Figura 15).

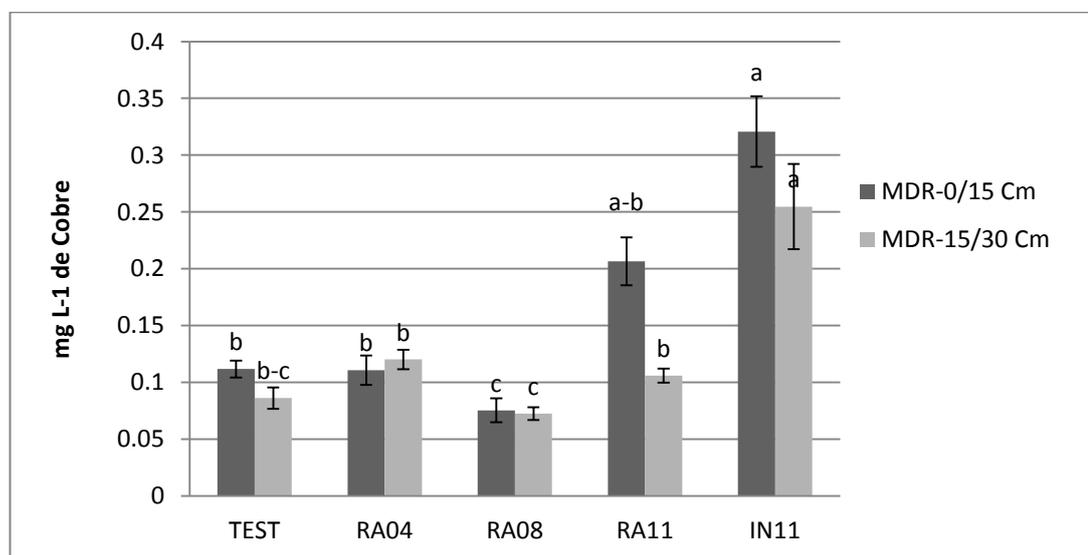


Figura 15. Valores medios de Cobre para el MDR 0-15 y 15-30 cm. medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

De acuerdo a la prueba de Tukey en cuanto al contenido de hierro las muestras MDM 0-15 cm mostraron solo un grupo. En las medias de muestras de 15-30 cm de profundidad se encontraron tres grupos habiendo una diferencia significativa entre IN11 y RA011 (Figura 16).

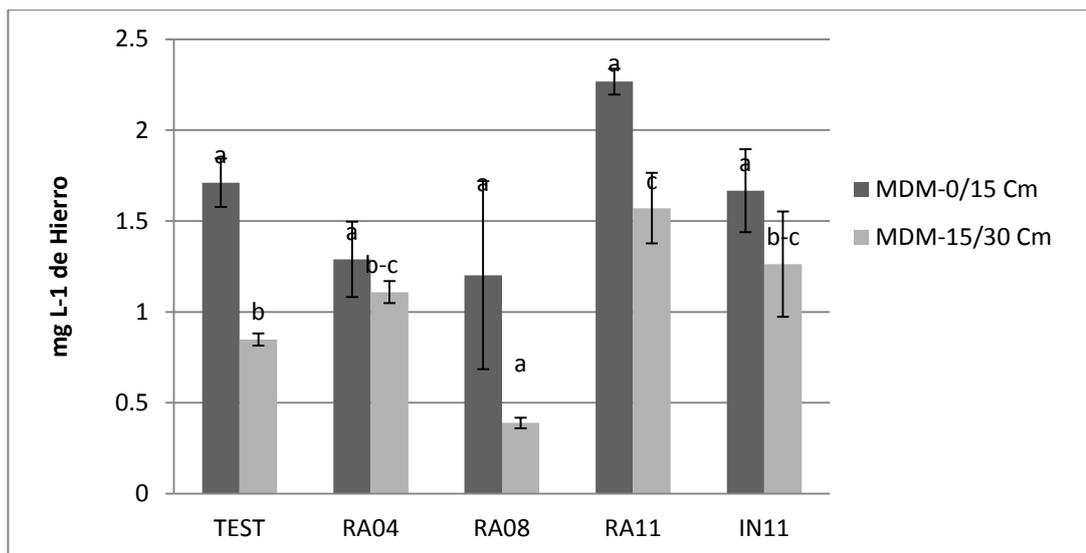


Figura 16. Valores medios de Hierro para el MDM 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

El contenido de hierro no mostro diferencia entre los tratamientos del MDR 15-30 cm pero si entre las profundidades, encontrándose el testigo de ambas profundidades con las menores cantidades de hierro (Figura 17).

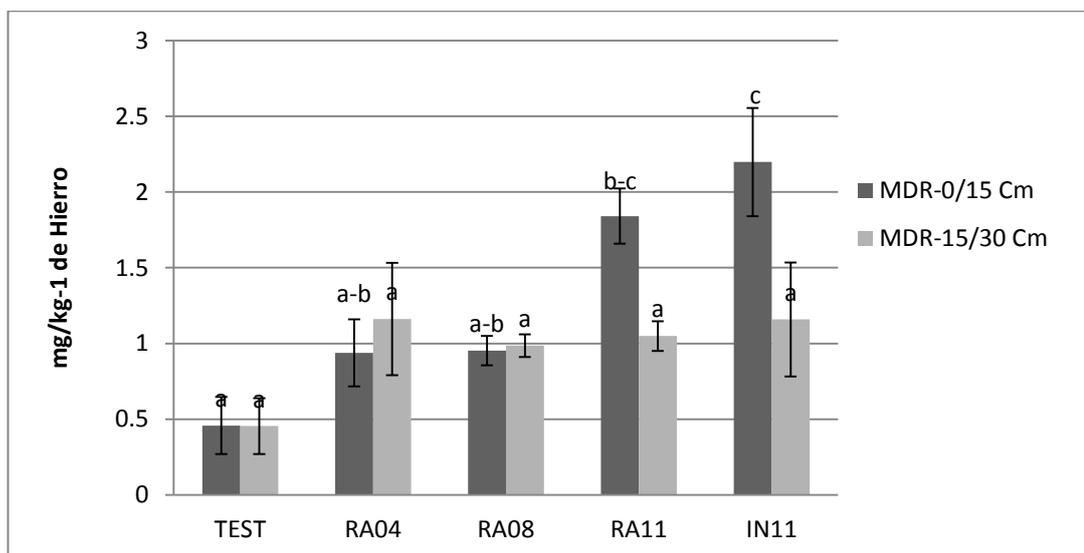


Figura 17. Valores medios de Hierro para el MDR 0-15 y 15-30 cm. Medias con letra diferentes en una misma profundidad son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en esta investigación demostraron que el uso del rodillo aireador sobre el contenido de minerales en el suelo tiene un efecto benigno, favoreciendo la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esto debido a la remoción del suelo que permite el depósito de nutrientes en la capa superior del suelo, parte en donde las plantas pueden aprovechar para sus procesos metabólicos esto se comprobó con los tratamientos evaluados en donde se encontró mayor contenido de nutrientes en la capa de 0-15 cm del suelo, además que permite una mejor aireación por los espacios que se generan en el suelo, esto ayuda a la actividad microbiana, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de la raíz (Walters *et al.*, 1992).

Ulloa(2001), reportó para un finca con uso agrícola ubicada en Abegondo, Coruña un contenido de Zn de  $0.89 \text{ mg L}^{-1}$  en su valor promedio, en esta investigación se encontró  $1.11 \text{ mg L}^{-1}$  en promedio dentro del área de estudio lo cual a pesar de las condiciones tan diferentes se encontraron buenas concentraciones de este micronutriente, sin embargo otros nutrientes que evaluó se encontraron mayores concentraciones en su estudio. El calcio con mayor presencia en las muestras evaluadas que presento  $486.90 \text{ mg L}^{-1}$  en promedio, en nuestro estudio también fue el Ca que se encontró  $204.29 \text{ mg L}^{-1}$ , sin embargo este contenido es adecuado para la vegetación. Además del uso del rodillo aireador, la disponibilidad de los nutrientes responde a varios factores como lo es el clima, la vegetación, entre otros factores abióticos. Otro factor importante es la vegetación ya que se encontró que el mejor contenido de nutriente se presentó en los tratamientos del matorral desértico micrófilo en comparación del matorral desértico rosetófilo. Uno de los grandes problemas que se tiene en el área de estudio es el sobrepastoreo por tal razón una opción de uso es el rodillo aireador para descompactar el suelo y exponer nutrientes para ser aprovechados por plantas nativas. En otras investigaciones se estima que el rodillo aireador estimula el crecimiento de vegetación y promueve el surgimiento de semillas almacenadas en el suelo, descompacta la superficie del suelo y facilita el intercambio gaseoso y el flujo de nutrientes, incrementando la capacidad de

retención de agua y establecimiento de pastos y herbáceas (Heredia, 2000; Uvalle, 2001; Fullbright y Ortega, 2007; Berlanga 2009; Ranglack y du Toit, 2014; Rubio, 2009). Los tratamientos con mejores resultados se encontraron en el tratamiento RA11, y el área con incendio natural de ese mismo año (IN11) al igual que reporta Medina, 2016 un índice de diversidad alto (1.9), con una baja cobertura (19%), teniendo un efecto similar en éste último parámetro tanto el fuego como el rodillo. Sin embargo, el incendio presentó una mayor diversidad, ya que mejoró la combinación de características de densidad.

Morales *et al.*, (2004) sostienen que el utilizar un implemento de mecanización de suelo como el rodillo aireador, para el mejoramiento de pastizales, puede contribuir a la recuperación y rehabilitación de suelos comprendidos dentro de la zona de matorrales y los valles centrales de México. También, este tipo de prácticas, ha contribuido a recuperar e incrementar el potencial productivo de las especies forrajeras.

## CONCLUSIONES

Existe variación en los contenidos de fósforo sin embargo el uso del rodillo aireador es benéfico puesto que muestra mejores contenidos de fósforo en tratamientos con rodillo aireador en comparación del testigo además de que concentra este nutriente en la capa superficial del suelo (0-15cm) durante su aplicación, lo cual sirve para el aprovechamiento de las plantas. Sin embargo el efecto es temporal, ya que a través del tiempo el contenido de fósforo disminuye como se denota entre la aplicación del rodillo aireador del 2004 que presenta menor contenido en contraste con la aplicación más reciente del 2011. En cuanto al uso de fuego no es recomendable para el caso del contenido de fósforo en el suelo debido a que tuvo una respuesta negativa sobre el contenido de este nutriente en el suelo, entre los tipos de vegetación el matorral desértico micrófilo demostró ser adecuado para mantener condiciones óptimas de fósforo en el suelo en comparación del matorral desértico rosetófilo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis estadísticos para el caso del Magnesio (Mg) el uso del rodillo aireador mostró un efecto benéfico tanto en el matorral desértico rosetófilo como en el micrófilo al igual que el incendio que mostraron los más altos contenidos de magnesio. Para todos los casos el tratamiento rodillo aireador 2011 presentó los mejores contenidos de macronutrientes, lo cual nos indica que el rodillo aireador mantiene disponibilidad de nutrientes al momento de su aplicación y por un periodo corto de tiempo, pero al paso de varios años esta disponibilidad disminuye tal como se muestra en el testigo que permanece con bajo contenido de nutriente. el uso del rodillo aireador en el caso del potasio muestra mejor rendimiento a cortos periodos como en los casos anteriores pero en este caso el matorral desértico rosetófilo de acuerdo a los resultados resulto tener mejor retención de este nutriente. para el caso del Zinc el uso del rodillo aireador mostro ser adecuado para aplicaciones temporales y periodos cíclicos, ya que conforme pasan los años este nutriente disminuye su disponibilidad, en cuanto a los tipos de matorrales, el ,matorral desértico micrófilo resulto ser mejor en la retención de este mineral de acuerdo a los

resultados obtenidos. Para el caso del cobre mostro resultados benéficos debido a que en el matorral desértico rosetófilo se encontró mayor presencia en la capa 0-15 cm lo que permite un mayor aprovechamiento por la vegetación, entre los matorrales el MDM mostro ser mejor para la retención de cobre de acuerdo a los resultados en comparación con el MDR.

Para el hierro el uso del rodillo aireador muestra ser una de gran utilidad para la disponibilidad de nutrientes en las capas superiores, al igual que en los nutrientes anteriores el MDM retiene mayor contenido de hierro en el suelo en comparación al MDR.

En general el uso del rodillo aireador es recomendable para la rehabilitación de zonas compactados por sobrepastoreo debido a que hay mayor disponibilidad de macro y micronutrientes para la vegetación en las capas superficiales de 0-15cm. Sin embargo el contenido de macro y micronutrientes en el suelo no depende de este tratamiento sino de varios factores, entre ellos el tipo de vegetación. De acuerdo a los tipos de vegetación estudiados en general el matorral desértico micrófilo demostró ser una vegetación con mayor retención de nutrientes, tanto macros como micronutrientes.

De acuerdo a los resultados encontrados se recomienda el uso del rodillo aireador como tratamiento de recuperación de suelo en una forma cíclica debido que al paso de los años los nutrientes se encuentran menos disponibles.

,

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade-Limas, E., Espinoza, M. C., Garza, R. J., & Vedroljak, J. (2009). Rehabilitación de praderas con el uso de rodillo aireador. In: VI Simposio 69 Internacional de Pastizales. 4 al 7 de Noviembre. Saltillo, Coahuila., México. 148.
- Ayala, F. A., Denogean, F.G., Moreno, M.S., Martínez, D. A., Gerlach, B. L. (2014). Rehabilitación y Mejoramiento de Hábitat para la Fauna Silvestre. INVURNUS, (9) (2) 18-22.
- Berlanga, R. C.,(2009). Uso de rodillo aireador para la rehabilitación de pastizales degradados, Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. Centro de investigación regional del norte. Campo experimental saltillo. INIFAP 11.
- Camci-Çetin, S., Karaca, A., Haktanır, K., Yildiz, H. (2007). Global Attention to Turkey due to Desertification, article published Springer Science
- Carrero, A. A., Zambrano, G. A., Hernández, G. E., Contreras, B. F., Machado, D. E., & Bianchi, B. G.(2015.).Comparación de dos métodos de extracción de fósforo disponible en un suelo ácido. Avances en Química (10), 29-33.
- Casas, N., y Manzano, M. (2009). Evaluation Of The Use Of Roller Aerator For The Rehabilitation Of Grazing Lands And Content Of Carbon In Arid Areas Of Northeastern México. In VI Simposio Internacional de Pastizales de 4 al 7 de Nov. Universidad Autónoma de Nuevo León- Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, N. L.
- Ceballos, V. D., Hernández O., Vélez, L. J. (2010). The Effects Of Farming On The Physical Properties Of Andisol Soil In The Department Of Nariño. Revista de ciencias agrícolas (XXVII)(1), 40-48.
- Cervantes, A. M., Blando, N. J., Hernández, S. J. (2009). Relación cobertura - densidad en poblaciones de Codornizbobwhite en el noroeste de

- Nuevo León, México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. 255-261.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México ,87-108.
- DOF (2002). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 Martes 31 de Diciembre 2002. 85.
- Donald, L. (1999). Phosphorus for agriculture published in the magazine better crops with plant food, (1), 6.
- Espinosa-Ramírez, M., Andrade-Limas, E., Rivera-Ortiz P., & Romero-Díaz, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. Papeles de Geografía, No. 53-54: 77-88.
- FAO. (1999). Terminology for integrated resources planning and management. Choudhury, Keya et Jansen, Louisa J.M. (éd). Soil Resources, Management and Conservation Service. FAO.
- Flores, S. D., Perez, O. M., & Navarro, G. H. (2004). Rehabilitación Agroecológica de suelos volcánicos endurecidos, experiencias en el Valle de México. Revista de Agroecología.(19)(4) 4.
- Flores, G. H., Jimenez, O. R., & Ramírez-Garduño, H. (2013). Uso del rodillo aireador para la recuperación de los agostaderos en Durango. Instituto Nacional de investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. 7-10.
- Fuhlendorf, S.D., Briske, D.D., & Smeins, F.E. (2001). Herbaceous vegetation change in variable rangeland environments: the relative contribution of grazing and climatic variability. Applied Vegetation Science 4:177- 188.

- Fulbright, T.E. (1996). Viewpoint: a theoretical basis for planning woody plant control to maintain species diversity. *Journal of Range Management* 49:554-559.
- Fulbright T. E., & Ortega, S. J. (2007). *Ecología y Manejo de Venado Cola Blanca*. Kingsville, Texas. Texas & AM University-Kingsville. 265.
- Gallardo, A., Covelo, F., Morillas, L.,& Delgado, M. (2009) Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta, artículo científico. *Revista Científica de ecología y medio ambiente*. *Ecosistemas* 18(2):4-19.
- García, G., & Olhagaray, E. (2012). Uso del rodillo aireador para el establecimiento de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) en curvas a nivel probando área siembra área escurrimiento en matorrales micrófilos en la región Norte centro. In: *Memorias de la XXIV Semana Internacional de Agronomía*. FAZ-UJED. 4 al 6 de Septiembre.356 – 360.
- Heredia-Pineda, F. (2000). Efectos de los tratamientos mecánicos sobre las aves en el matorral xerófilo en Lampazos, Nuevo León. Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 128.
- Ibañez, N. C. (2004). Elementos principales del suelo, geodinámica y dinámica de los principales componentes del suelo. *Publicaciones integrales, la Paz* ISBN 99905-0-450-4. 54.
- Imas, P. (2012). El potasio: nutriente esencial para aumentar el rendimiento y la calidad de las cosechas. *ICL Fertilizer* 5p.
- INE-SEMARNAT,(1997).Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna “Maderas del Carmen”, México 1a Ed. 127.
- INEGI,(2004). Guía para interpretación de cartografía, edafología, capítulo 3 Unidades y subunidades de suelo 11- 24.

- Kyrkby, E., Romheld, V. (2007). Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. Proceedings 543, The International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom.
- Mata, E., Cisneros, A. & Nevárez M. (2009). Infiltración en agostaderos de la región semiárida de Durango México rehabilitados con rodillo aireador. Pag. 16. In: Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales. 4 al 7 de Noviembre de 2009. Monterrey, Nuevo León, México.
- Marcos, E., Tárrega, R. & Calabuig, L. (1999). Alteraciones producidas por un incendio forestal en el suelo de una repoblación de *Pinus radiata*, Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. (6) 27-35.
- Medina, G. R. (2006). Cambios en la estructura y propiedades hidroedafológicas en áreas bajo manejo del matorral micrófilo y rosetófilo, tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Forestales, 47.
- Michel, H., García, F., Rodríguez, J., & Castellanos, A. (2015) Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de buffel (*pennisetumciliare* (L.) link) Savanna. Universidad de Sonora. Hermosillo sonora, México artículo publicado en la revista terra Latinoamericana No 33 79-93.
- Morales, C.; Gutiérrez, E. & Sierra, J. S. (2004). Proyecto: Uso del rodillo aireador como una herramienta para el mejoramiento de pastizales. INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Campana - Campo Experimental Madera. México.
- RAIJ, B. (1998). Bioavailable tests: Alternatives to standard soil extractions. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 29 (11-14): 1553-1570.
- Raison, R. J. (1979). Modification of the soil environment by vegetation fires, with a particular reference to nitrogen transformations: Revista Plant and Soil vol. 51, 73- 108.

- Ranglack, D.H., y J.T. du Toit. 2015. Habitat Selection by Free-Ranging Bison in a Mixed Grazing System on Public Land. *Rangeland Ecology & Management*, 68(4): 349-353.
- Rzedowski, J., (2006). *Vegetación de México*. 1ra. ed. digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 255.
- Rodriguez, S., (1992). Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F.
- Rubio, G. E. (2009). Rodillo aireador. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. México D.F. 1-8.
- SEMARNAT & Colegio de Postgraduados (2003). Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México 10.
- Ugalde, J.; Granados D.; Sánchez, A. (2008). Sucesión en el matorral desértico de *Larrea tridentata* (DC.) Cov. en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. *Terra Latinoamericana* 26: 153- 160.
- Ulloa G., (2001) Macro- and micronutrients availability in a cropped soil in Mabegondo (A Coruña). *CadernosLab. Xeolóxico de Laxe Coruña*. 2001. Vol. 26, pp. 243-254.
- Uvalle, J. (2001). Rehabilitación de áreas pastoreadas y sus efectos en las comunidades vegetales y en las dietas de ungulados. Tesis maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. 138.
- Villegas D. G., A. Bolaños M. y L. Olgún P. (2001). La ganadería en México. México. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía, UNAM. Plaza y Valdés Editores. S.A. de C.V. 163.

Walters, D. T., Aulakh, M.S., Doran, J. W. (1992). Effects of soil aeration, legume residue, and soil texture on transformations of macro- and micronutrients in soils<sup>1</sup>. *Soilscience*, vol. 153, 4.

Woerner, M. (1989) Método Químico para el Análisis de Suelos Calizos de Zonas Áridas y Semiáridas. Facultad de Ciencias Forestales, Departamento Agroforestal, Área de Suelos, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares Nuevo León.