

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**Análisis de la Fertilidad del Suelo del Rancho Ganadero  
Experimental Los Ángeles**

**Por:**

**OMAR NARVÁEZ SILVA**

**TESIS**

**Presentada Como Requisito Parcial para  
Obtener Título de:**

**INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Noviembre del 2019**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**Análisis de la Fertilidad del Suelo del Rancho Ganadero**  
**Experimental Los Ángeles**

Por:

**OMAR NARVÁEZ SILVA**

TESIS

Tesis presentada como requisito principal para obtener el título de:

**INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Duénez Alanis**  
Asesor principal

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Eduardo García Martínez**  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan Antonio Encina Domínguez**  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
**MC. José Antonio Hernández Herrera**  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Duénez Alanis**  
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre del 2019

## DEDICATORIA

**A dios nuestro señor y la Virgen de Juquila.** Les doy gracias por permitirme lograr uno de mis propósitos y por cuidar siempre de mi familia, concederme miles de bendiciones a lo largo de mi vida y siempre darme la valentía para enfrentar los obstáculos y dificultades que se presentan.

**A mis padres. José Narváez Solís y Mariana Silva Santiago.** Por darme la vida y haber creído en mí en todo momento, por todo el apoyo incondicional que me brindaron tanto moral como económicamente, por la mejor herencia que me han regalado que es terminar mis estudios de ING. Agrónomo Zootecnista. Hoy pueden ver alcanzada una de varias metas en mi proyecto de vida, siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera y fue lo que me hizo llegar hasta el final, les dedico este trabajo por lo que valen, porque admiro su, carácter, fortaleza y entrega por quererme sacar adelante. Me han formado con reglas y me han enseñado a nunca rendirme, que hoy en día hacen de mí una persona de bien.

**A mis Hermanos. José Enrique Narváez Silva y Diana Lili Narváez Silva.** Por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, por creer en mí. Por no dejarme solo y por darme su comprensión y apoyo en todo momento de mi carrera.

**A mi tío. Abel Narváez Solís.** Por todo el apoyo incondicional que he tenido de él.

**A mis abuelas. Estela Santiago (+) y Primitiva Solís (+).** Por qué sería un orgullo para ellas ver cumplir mis sueños.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios y la Virgen de Juquila.** Por bendecir y guiar mi camino y permitirme lograr esta meta, dándome las fuerzas para superar los obstáculos y dificultades a lo largo de mi carrera. Gracias por darme la fortaleza para seguir adelante y no desalentarme en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades.

**A mis padres.** Les agradezco por estar en cada momento guiándome y apoyándome para cumplir una meta más, ya que este logro no es solo mío sino también de ellos.

**A mis Hermanos.** Por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, por creer en mí. Por no dejarme solo y por darme su comprensión y apoyo en todo momento de mi carrera.

**A mis tíos** de la familia Narvárez Solís y de la familia Silva Santiago por creer en mí y por estar siempre conmigo en los buenos y malos momentos, por su apoyo incondicional y sus consejos.

**A mi Alma Terra Mater.** A la H. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme las puertas y acobijarme, por ser parte de mi formación profesional, por darme las bases para enfrentar al mundo y sobre todo por darme tantas experiencias que en ningún otro lugar hubiera podido disfrutarlas como en mi alma terra mater.

**A mis maestros.** Por compartirme parte de sus experiencias y ayudar en mi formación profesional, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por enseñarme y poder llegar al punto donde me encuentro.

**Al Dr. José Dueñez Alanís.** Por haberme brindado su tiempo y dedicación para poder terminar este trabajo que me lleva a terminar con una de mis metas en la vida, por ser un maestro, un amigo y un padre en mi estancia en la universidad, le doy las gracias.

**Al Dr. José Eduardo García Martínez, al Dr. Juan Antonio Encina Domínguez, al MC. José Antonio Hernández Herrera** por ser parte de este proyecto de tesis y también por ser parte de mis sinodales.

**A Señora Nora Martínez.** Por su apoyo y sus consejos por estar en cada momento en la elaboración de este trabajo y en el transcurso de la universidad.

**A mis primos.** De la familia Narváez Solís y de la familia Silva Santiago, por estar siempre conmigo en los buenos y malos momentos.

**A mis amigos.** Pablo Abel de la cruz, Gerardo Lucio, Cesar Gonzales, Domingo Ortiz, Geovanny Franquez, Yair Pacheco, Rafael Condado, Antonio Aldana, Juan Clavel, Rigoberto Ángeles. Por su apoyo y sus consejos por estar en los buenos y malos momentos por brindarme su gran amistad y compartir conmigo fantásticos momentos que solo se viven una vez en la vida.

### MANIFESTÓ DE HONESTIDAD ACADÉMICA

El suscrito, Omar Narváez Silva, estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, con matrícula 41145335 y autor de la presente Tesis manifiesto que:

1. Reconozco el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente Tesis han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactado según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el copiado y pegado de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ninguno de ellos.
5. Entendiendo que la función y alcance de mi comité de asesoría, está circunscrito a la orientación y guía respecto a la metodología de la investigación realizada por la siguiente Tesis, así como del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por lo tanto eximo de toda responsabilidad relacionado al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente por parte mía.



Omar Narváez Silva.

Tesista de licenciatura/UAAAN

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
RESUMEN.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN .....	2
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
REVISION DE LITERATURA .....	4
Pastizales .....	4
Evaluación de la Calidad o Fertilidad del Suelo .....	9
Función e importancia de la Materia Orgánica en el suelo.....	16
Nutrición Mineral .....	18
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Descripción del Área de Estudio. ....	24
Etapas de Estudio.....	27
Análisis Estadístico.....	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
ANALISIS BROMATOLÓGICO.....	29
ANALISIS DE SUELOS .....	29
CONCLUSIONES .....	40
RECOMENDACIONES .....	41
LITERATURA CITADA.....	42
ANEXOS.....	49

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.. <b>Propiedades Físicas del Suelo</b> .....	30
Cuadro 2. <b>Reacción del Suelo</b> .....	30
Cuadro 3. <b>Diagnóstico de Fertilidad</b> .....	31
Cuadro 4. <b>Aniones Solubles</b> .....	31
Cuadro 5. <b>Cationes Intercambiables</b> .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles. ....	25
Figura 2. Tipos de vegetación en el Rancho Experimental Ganadero Los Ángeles (Vásquez, 1980). ....	26
Figura 3. Regresión lineal simple en el primer corte de total de nutrientes digestibles (TDN1) y potasio (P1). ....	33
Figura 4. Regresión lineal simple en el primer corte de cenizas (CE1) y potasio (K1). ....	34
Figura 5. Regresión lineal simple del segundo corte de proteína cruda (PC2) y sodio (Na1). ....	35
Figura 6. Regresión lineal simple del primer corte de total de nutrientes digestibles (TDN1) y cobre (Cu1). ....	36
Figura 7. Regresión lineal simple del primer corte de total de nutrientes digestibles primer corte (TDN1) y (Bicarbonato). ....	37



## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad de analizar la relación del análisis nutricional del suelo del pastizal y el análisis bromatológico en el Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles. Se realizaron correlaciones entre las características del suelo y de la vegetación y entre las variables asociadas se realizó el análisis de regresión. Se encontró que son suelos deficientes en la materia orgánica y en su incorporación al humus. Se hizo un análisis de las propiedades físicas, reacción del suelo, diagnóstico de fertilidad, aniones e intercambio catiónico. En general, se encontró la falta de una integración del funcionamiento del ecosistema. En la relación suelo –pastizal, la presencia de materia orgánica no incorporada denota la necesidad de realizar el estudio microbiológico, complementario del suelo y la disponibilidad de nutrientes básicos por cuestión intrínseca de la geología del área, como es ser suelos pobres en nitrógeno, potasio y fosforo y ricos en carbonatos.

**Palabras clave:** pastizal, análisis bromatológico, análisis de propiedades físicas del suelo, análisis nutricional del suelo, reacción del suelo y diagnóstico de fertilidad.

## INTRODUCCIÓN

La producción de forraje de los pastizales del norte de México para la ganadería de bovinos es un factor importante, al ser la principal fuente de alimentación y más económica, tanto en explotaciones extensivas como intensivas (Suarez, 2012). El forraje de los pastizales proporciona los nutrimentos necesarios en la forma más económica, comparado con los alimentos suplementados y, la disponibilidad del recurso de manera natural (Clymont, 1974).

El valor nutritivo de los forrajes está determinado por la presencia de sustancias nutritivas, como proteínas, energía, vitaminas, minerales y carbohidratos que son necesarios para el crecimiento y productividad de los animales (Astier *et al.*, 2002).

Para obtener altos rendimientos de forrajes, y de producción animal, los zacates deben manejarse como un recurso sustentable y de igual manera considerar los factores adjuntos del suelo y clima. Los propietarios de ranchos ganaderos tienen mucha atención a la importancia al valor nutritivo de la vegetación, continuamente observan a través de la condición animal el estado nutricional. El valor nutritivo de las especies de los pastizales es determinado por los análisis bromatológicos. La cantidad y calidad del forraje está en función del valor nutricional del suelo. El suelo es un sistema heterogéneo y dinámico que incluye componentes físicos, químicos, biológicos y sus interacciones; para evaluar su calidad o fertilidad resulta necesario la medición y descripción de sus propiedades (Luters y Salazar, 1999).

Esta capacidad forrajera del pastizal está en función de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, factores ambientales del sistema y el manejo del mismo. El tener una alta producción de forraje no necesariamente implica un alto o bajo valor nutritivo. Es necesario evaluar y monitorear dichas calidades del forraje y del suelo con el objetivo de mejorar la producción de forraje o conservar su valor forrajero y la fertilidad y productividad del suelo para garantizar la sustentabilidad del ecosistema pastizal. Como parte de las estrategias para lograrlo, resulta indispensable la selección y uso de indicadores de calidad que proporcionen información sobre los cambios generados

en las plantas y propiedades edáficas, en consecuencia, del manejo y uso del pastizal. En otras palabras, se requiere de un indicador como una herramienta de monitoreo, que resuma o simplifique información relevante, haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible mediante la cuantificación, medición y subsecuente interpretación de atributos que determinen el estado actual y potencial de la relación suelo-vegetación (Karlen *et al.*, 2001).

La calidad del suelo se conceptualiza como un vínculo entre las estrategias de conservación, las prácticas de manejo y el alcance de los principales objetivos de la ganadería sostenible. Es así como la evaluación de la calidad y su cambio a través del tiempo es considerado como un indicador primario del manejo sostenible del suelo y el pastizal (Astier *et al.*, 2002).

## **JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo se realiza debido a que algunos potreros ubicados en el pastizal del Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles se encuentra con uso frecuente y otros con poco uso frecuente, estos últimos debido a la falta de mantenimiento de la red hidráulica que lleva agua a los bebederos. Lo anterior, se tomó en referencia para conocer el comportamiento productivo y nutricional del pastizal y la fertilidad del suelo, ya que el crecimiento y desarrollo de los zacates que se encuentran dentro del pastizal con poco y frecuente uso tiene diferencias marcadas con la presencia de material acumulado de vegetación y el pastizal debería presentar una recuperación en el suelo y la vegetación de manera positiva o beneficiando la calidad nutricional de este recurso.

## **OBJETIVO GENERAL**

El presente estudio fue realizado para determinar si existe relación en el pastizal entre la vegetación y el suelo, a través del análisis bromatológico y el análisis de fertilidad de suelo de tres tipos de vegetación y especies forrajeras que se encuentran el Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar la importancia del análisis bromatológico en el pastizal.

Evaluar y analizar la fertilidad del suelo.

Determinar algunas relaciones básicas del análisis bromatológico y la fertilidad del suelo en el pastizal.

## REVISION DE LITERATURA

### **Pastizales**

Los pastizales constituyen una fuente fundamental de alimentos para los rumiantes. Existen dos clases de pastizal. Estos son los pastizales naturales, que son tierras que sustentan vegetación nativa para el consumo animal y los pastizales artificiales, que son aquellas tierras de pastoreo bajo un manejo intensivo, que usualmente soportan especies forrajeras introducidas y reciben prácticas agronómicas y/o culturales (Huss *et al.*, 1996).

Los pastizales están constituidos por elementos abióticos y bióticos que conforman una unidad cuya dinámica y armonía depende el adecuado funcionamiento del ecosistema. Entre los componentes abióticos se encuentran las sustancias inorgánicas, el régimen climático, el suelo, la topografía y la altitud. Entre los bióticos se ubican las plantas u organismos autótrofos, los consumidores y descomponedores de materia orgánica, como las bacterias, hongos, nematodos y otros. Todos los componentes poseen igual importancia y desarrollan una función específica, por lo que la estabilidad productiva del pastizal y persistencia en el tiempo estarán influenciadas por su equilibrio dinámico en el sistema. Su función como un todo y la alteración de algunos de ellos se refleja en el funcionamiento del ecosistema (Herrero, 2005).

Cuando en el pastizal se producen cambios, por el pastoreo o la naturaleza, estos varían con el grado de perturbación. La degeneración de los pastizales se produce de manera gradual que generalmente no se observan, hasta que ocurre una pérdida en la productividad, entonces se necesitan varios años para su restauración o rehabilitación. Esto no quiere decir que el pastoreo es una perturbación, sino que puede ser parte esencial del sistema, donde la intensidad del pastoreo puede ser empleada como herramienta para conservar las especies de animales y vegetación (Martínez y Herrera, 2005).

La producción ganadera basada en los forrajes del pastizal es el resultado de la combinación equilibrada de todos los factores que intervienen en el complejo suelo-planta-animal-hombre y que se define como un ecosistema de pastizal; en el influyen

y se relacionan todos los factores que determina la producción, utilización y permanencia del pastizal y se diferencia de otros ecosistemas, por el suelo o el clima donde se explotan, por insumos que se destinan al suelo o al animal, por el propósito de su explotación y por la forma en que el hombre los maneja (Lok, 2005).

Gómez-Sal (2001) considera fundamental, para el manejo ecológico de los pastizales, que mantengan elementos estabilizadores que reduzcan el riesgo de sobre explotación, entre lo que señala de los más importantes el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, la producción y calidad nutricional de los zacates.

El uso sostenible de los pastizales requiere de conocer cuál es su estado actual y potencial, sus tendencias de cambio y el seguimiento de indicadores que consideren los efectos del ganado y la velocidad de respuesta de cada componente del pastizal (Lok, 2005).

Para garantizar la sustentabilidad de los pastizales, es tarea de primer orden el control sistemático del pastizal y su evolución, debido al manejo que se les aplica. Por esto, es necesario trabajar con indicadores que permitan realizar este seguimiento. Al evaluar los pastizales se debe realizar un análisis integral, que incluyan el manejo del animal, la influencia de las condiciones climáticas, edáficas y las relaciones suelo-planta (Quiñonez *et al.*, 2004). Mientras más amplio sea este análisis, la diversidad de indicadores, mejor será su interpretación. Debe sustentarse en indicadores poco sensibles a los cambios ambientales, que permitan caracterizar de manera efectiva, fácil y confiable el estado de los sistemas y repetibles en el tiempo (Karlen, 1997).

Un buen manejo de los pastizales toma en cuenta la ecología y la economía; considerándolos como los objetivos más importantes de la ganadería sostenible. Para alcanzarlos es necesario un conocimiento más profundo de las especies forrajeras y una aplicación certera y cuidadosa de la fertilidad del suelo (Dietl, Fernández y Venegas, 2009).

Si la fuente y el suministro de nutrientes son constantes, los zacates crecerán mejor y producirán mayores rendimientos. Pero si uno solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de los zacates es limitado y los rendimientos son

reducidos. Por lo tanto, buscando obtener altos rendimientos, se emplean estudios de la fertilidad del suelo, los cuales son necesarios para conocer la disponibilidad de los nutrientes que estén disponibles para los zacates y conocer si hay alguna deficiencia que nos pueda afectar en la producción (FAO, 2007).

El deterioro de la condición de los pastizales tiene un impacto negativo en el valor, servicios y beneficios ambientales que brindan estos ecosistemas (Petersen y Stringham, 2008). Frente a este panorama existen preocupación por llevar a la práctica estrategias de mejora de pastizales que resulten viables para la rehabilitación de ecosistemas degradados desde el punto de vista económico y ecológico, con la finalidad de agregar sostenibilidad a los sistemas de producción pecuarios, pues cuando la condición y productividad del pastizal se mejora, se incrementa la estabilidad y resistencia de los ecosistemas a las perturbaciones (Krogh *et al.*, 2002).

Al juzgar la importancia de los pastizales y plantas forrajeras se debe considerar, que los pastizales suministran el alimento más barato a los animales; bien manejados pueden dar alimento de alta calidad, las plantas forrajeras pueden restaurar la fertilidad del suelo, ayudan al control de malezas y enfermedades; son la mejor y única forma de aprovechamiento de algunas tierras.

Rehabilitar un pastizal significa elevar su condición, productividad y capacidad de carga, para lo cual los manejadores de pastizales hacen uso de las estrategias de mejora de su condición. Que pueden ser clasificadas en extensivas e intensivas en función a criterios como: costo de inversión, nivel de producción, rentabilidad y nivel de tecnología (Herbel, 1983). La adición de materia orgánica, la revegetación con semillas o material vegetativo de especies nativas claves son prácticas de mejora para recuperar pastizales degradados (Flores, 1999).

## **Causas y Estado de la Degradación de los Pastizales**

La degradación de los pastizales es un problema de orden mundial y se le define como la alteración de la productividad, estabilidad, función hídrica e integridad biótica de un ecosistema de pastizal, lo cual lo hace más susceptible a los efectos negativos de los estreses ambientales y malas prácticas de manejo (Pyke *et al.*, 2002). Algunas tierras de pastoreo están cambiando de manera dramática y cuya tendencia son los cambios en la composición y estructura de la vegetación documentados en diferentes regiones del mundo. Estos tipos de cambios en la estructura y composición de las comunidades vegetales se asocian a menudo con importantes, y muchas veces no muy bien comprendidos, procesos de alteraciones hidrológicas y ciclos biogeoquímicos (Krogh *et al.*, 2002). Entre las causas principales que inducen la degradación de los pastizales se encuentran (Flores, 1996):

- Escaso conocimiento acerca de la estructura y funcionamiento de los diferentes sistemas de pastizal.
- Ausencia de un sistema de generación y transferencia de tecnología en praderas naturales, manejo de agua y biodiversidad
- Pobreza baja rentabilidad de los sistemas de producción ganadera, los cuales acentúan la presión de pastoreo (sobrepastoreo) sobre las tierras de pastizal.

Una de las principales preocupaciones de los manejadores de pastizales es la pérdida progresiva de la productividad secundaria y la diversidad florística (West, 1999), problema que es atribuido a la sobreexplotación del recurso pastizal, que al alcanzar niveles altamente extremos no pueden volver a su estado original, incluso cuando descansó durante décadas (O'Connor, 1991). Marcos conceptuales y modelos de degradación que describen el cambio en detrimento de los pastizales han sugerido que la probabilidad de revertir el cambio inducido por el pastoreo, puede ser inversamente proporcional a la cantidad de perturbación involucrado en la transición, es decir que para revertir el proceso de la degradación se requerirá de la misma cantidad de energía que fue utilizada para alterar la composición de especies de la vegetación (Westoby *et al.*, 1989).



De acuerdo con la literatura, la degradación de los pastizales se debe a dos factores principales; aumento del número de animales o sobrepastoreo (Milton *et al.*, 1994) y malas las prácticas de manejo (Flores, 1996). Un estado de degradación de pastizales es identificado a través de un deterioro de la capacidad del suelo para captar y almacenar agua, así como la pérdida de materia orgánica o la acumulación de sales y otras sustancias tóxicas en el suelo (Valverde *et al.*, 2001). Los procesos de degradación y su magnitud varían según los usos específicos del suelo (Whitford, 1995) y cuando alcanza niveles o umbrales más críticos que conlleven hasta la reducción total del potencial biótico del sitio, se le conoce como desertificación (Vis, 1991).

El concepto de condición es un indicador del proceso de degradación de pastizales cuando se monitorean sistemáticamente año a año (Whitford, 1995). Cambios en la vegetación y los suelos como resultado de la degradación de los pastizales en ecosistemas desérticos, han tenido un efecto mínimo sobre la biodiversidad animal, sin embargo, la degradación tiene un impacto negativo sobre algunas especies que son claves en pastizales, ya que cuando esta ha sobrepasado cierto umbral, la eliminación del estímulo ambiental que está impulsando el cambio no se traducirá en la pronta recuperación del ecosistema en su estado anterior. Cuando la degradación del ecosistema ha sobrepasado ese umbral, la restauración también puede ser casi imposible y esos ecosistemas son considerados irreversiblemente degradados (Whitford, 1995).

La identificación del umbral de la degradación irreversible es esencial para sugerir las estrategias de gestión de las tierras destinadas a detener o revertir los procesos de degradación. Un indicador útil del estado de salud de un ecosistema de pastizal en su estructura y función es la identificación de la presencia de especies vegetales claves (Croos y Waser, 2000).

Otro indicador del estado de degradación, lo constituyen la presencia de los microorganismos que habitan las capas del suelo y prevalecen funcionalmente como ingenieros del ecosistema para llevar a cabo numerosos servicios ambientales importantes (ciclo de nutrientes, incorporación y humificación de la materia orgánica,

etc.). Reportes señalan que alterar drásticamente el equilibrio de estos microorganismos conlleva a su progresiva eliminación del suelo, y es un factor que determina la acelerada erosión del suelo y a otras formas de degradación de la tierra (Bowker *et al.*, 2006).

El impacto de la degradación de los pastizales se observa en las características del suelo y su fertilidad. Estudios reportan que, con la progresiva degradación de los pastizales, la fertilidad del suelo disminuye, se incrementa la compactación del suelo y la temperatura, y, por el contrario, se reduce la infiltración, el contenido de materia orgánica y la humedad del suelo (Bowker *et al.*, 2006).

### **Evaluación de la Calidad o Fertilidad del Suelo**

La evaluación de la calidad del suelo es indispensable para determinar si un sistema de manejo es sustentable a corto o largo plazo. Dicha evaluación permite comprender y revertir el deterioro en la funcionalidad ecosistémica que ocurre como consecuencia de la degradación de los suelos, generada por fenómenos como la erosión, la compactación, la pérdida de nutrientes, la contaminación, las alteraciones en el pH, el aumento en la solubilidad de metales pesados, la reducción de la densidad y la actividad biológica; la mayoría de ellos son causados por la implementación de prácticas de manejo inadecuadas. Por ejemplo, es ampliamente aceptado que la conversión de ecosistemas nativos a la agricultura o ganadería es uno de los principales impulsores de cambios ambientales globales, debido al hecho que se asocia con el cambio climático, pérdida de biodiversidad y contaminación de suelos y aguas por el uso excesivo de agroquímicos (Wang *et al.*, 2012).

La calidad del suelo depende de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas. Es así como dichas propiedades del suelo pueden emplearse como mecanismos de análisis para detectar tendencias y determinar si los actuales sistemas de manejo conservan, mejoran o degradan el suelo, estos pueden ser utilizados como indicadores de calidad (Gil-Stores *et al.*, 2005).

Adicionalmente los indicadores son una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible, y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante acerca de procesos y características del funcionamiento del suelo (Luters y Salazar, 1999).

Los indicadores de calidad se consideran una fuente de conocimiento importante por que facilitan la formulación de estrategias y acciones para la planeación territorial, proveen información preventiva temprana y anticipan condiciones; de igual manera, son indispensables en la toma de decisiones para ganaderos y agricultores, así como para el establecimiento de políticas de conservación del recurso suelo (Doran y Zeiss, 2000).

En el ámbito de recuperación o restauración ecológica, el estudio de la calidad edáfica permitirá la selección y la adaptación de indicadores de evaluación y monitoreo a partir de los cuales se desarrollará y se estimulará la implementación de prácticas de manejo que no degraden el suelo. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas, nominales o de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, la propiedad no es cuantificable o cuando los costos para cuantificar son demasiados elevados (Cantú *et al.*, 2007).

El suelo es un recurso natural y un sistema muy complejo que permite el sostenimiento de las actividades productivas, pero por su amplia variabilidad es difícil de establecer una sola medida física o química que refleje su calidad (Bandick y Dick, 1999), la regresión lineal (factor simple) y el análisis multivariado (análisis de componentes principales, análisis de correspondencias, análisis de factores, entre otros) han sido las herramientas estadísticas más utilizadas para evaluar la calidad del suelo y para determinar indicadores.

Los indicadores de calidad se clasifican en cuatro categorías: indicadores visuales, físicos, químicos y biológicos (De la Rosa, 2005). Los indicadores visuales pueden ser obtenidos a través de percepción en visitas de campo, por ejemplo,

observando la exposición del subsuelo, el cambio de color del suelo, la presencia de cárcavas, el encharcamiento prolongado, la presencia de malezas o plantas no deseadas, la escorrentía, el pobre desarrollo de vegetación, entre otros, todos ellos son indicios claros de que la calidad del suelo ha sido alterada y está siendo amenazada (Navarrete *et al.*, 2011).

Los indicadores físicos están relacionados con el tamaño, la disposición y el arreglo de las partículas del suelo. Los más relevantes son la porosidad, la densidad aparente, la resistencia a la penetración, la capacidad de retención de agua, la conductividad hidráulica, la estabilidad y el tamaño de los agregados, la profundidad y la textura. Estos indicadores reflejan primordialmente limitaciones en el crecimiento de raíces, emergencia de plántulas, infiltración o movimiento del agua dentro del perfil del suelo, retención, transferencia y ciclaje de nutrientes, e intercambio óptimo de gases (Schoenhltza *et al.*, 2000).

Por su parte, los indicadores químicos de la calidad incluyen propiedades que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para plantas y microorganismos. Dentro de las propiedades químicas que más han sido empleadas como indicadores se destacan el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y los nutrientes (N total, nitratos, amonio, relación C: N, fósforo total y disponible y potasio) (De la Rosa, 2005).

Los indicadores que reflejan fertilidad (pH, contenido de materia orgánica, N, P y K) son importantes en términos de productividad de la planta. Sin embargo, resulta importante mencionar que uno de los problemas que presenta la utilización de propiedades químicas como indicadores es su alta variabilidad estacional. Una opción es usar pocos indicadores, pero representativos, por ello se ha propuesto usar un conjunto mínimo de datos (MDS por su nombre en inglés). El MDS contiene una selección de parámetros que representan al total de sólidos disueltos, con lo cual se ahorra tiempo y dinero (Govaerts *et al.*, 2006).

## **Importancia de las Propiedades del Suelo en el Valor Nutricional**

**Textura del Suelo.** La textura del suelo se refiere a la producción relativa de las clases de tamaño de partícula (separaciones de suelo, o fracciones como arena, limo y arcilla.) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, Atlas, 2014).

**Densidad Aparente (Da).** La densidad aparente puede ser incluida dentro de un grupo reducido de parámetros cuya medida es necesaria para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica al enraizamiento y la cohesión del mismo. Cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre densidad aparente y la porosidad total. La densidad aparente del suelo es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo. La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces (Doran y Parkin, 1994).

**El Potencial Osmótico.** Representa el efecto de sustancias disueltas y es la suma de efectos individuales de las sales y de la presencia de solutos en el agua del suelo. Los compuestos salinos afectan las propiedades termodinámicas y bajan el potencial de energía. Este fenómeno no afecta al movimiento del agua en el suelo. El potencial osmótico puede limitar la absorción del agua y nutrientes cuando los solutos se acumulan dentro de los espacios libres en la periferia de la endodermis radical, ya

que la energía del agua disminuye y, con ésta, su capacidad de movimiento hacia el interior de la planta (Corley, 2009).

La acumulación continua de las sales en el tiempo promueve la salinización de los suelos, afectando a la productividad de los cultivos y a la calidad ambiental del ecosistema. Para una mejor comprensión se suelen individualizar los efectos debidos a la salinidad y la sodicidad, que en muchos casos actúan en simultáneo (Gallart, 2017).

Efectos osmóticos: 1). Las sales modifican el potencial osmótico del agua del suelo. 2). Se inhibe el crecimiento y puede haber paso de agua de la planta al suelo (plasmólisis). 3). Aumentan la concentración de algunos iones que afectan a la fisiología de la planta, por resultar tóxicos o provocar desequilibrios en el metabolismo de nutrientes (Gallart, 2017).

### **Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)**

La capacidad de campo (CC) es el contenido de agua que se retiene en un suelo después de ser saturado con agua (Singer y Munns, 1999). La capacidad de campo se valora por el porcentaje en volumen de agua existente con respecto al suelo seco. La capacidad de campo representa el contenido de humedad del suelo, cuando el agua que este contiene, deja de fluir por gravedad, cuando este fenómeno ocurre, el agua libre o gravitacional deja de existir en el suelo. En el suelo provisto de un buen drenaje interno, la máxima capacidad de almacenamiento de agua está representada por la capacidad de campo (Lambers *et al.*, 1998). Por el contrario, a la capacidad de campo, el Punto de Marchitez Permanente (PMP) es el potencial hídrico del suelo más negativo al cual las hojas de las plantas no recobran su turgencia. En efecto, el valor del PMP depende de las condiciones climáticas del suelo y de la conductividad hidráulica. Si el suelo no recibe nuevos aportes de agua, la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a un nivel en el que las raíces ya no pueden extraer agua del suelo (Montenegro y Malagón, 1990).

**Conductividad Hidráulica (K).** Esta cualidad es la que define las posibilidades que tiene el agua de moverse dentro del suelo; la propiedad que se mide para evaluar dicha posibilidad se conoce como conductividad hidráulica del suelo. Por su definición, es una cualidad que se relaciona estrechamente con el drenaje del suelo (Leitón, 1985).

La conductividad hidráulica del suelo es fuertemente dependiente de su contenido de humedad y puede disminuir varios órdenes de magnitud al pasar del estado de saturación a punto de marchitez permanente (Hanks y Ashcroft, 1980). La conductividad hidráulica del suelo es máxima cuando está saturado, pues todos los poros están llenos con agua y actúan como conductores; además, a mayor tamaño de poros, mayor es la conductividad, por lo cual es una propiedad que depende fuertemente de la estructura, la textura y la composición mineralógica de las arcillas. La conductividad hidráulica es una característica que depende de la porosidad del suelo, así como de la temperatura y salinidad del agua. Tomando en cuenta la porosidad, se puede decir que los suelos abiertos y/o bien estructurados son los que reportan en las pruebas los valores más altos de conductividad hidráulica (Leitón, 1985).

**pH del Suelo.** El pH es una propiedad química del suelo que tienen un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidrogenados activos ( $H^+$ ) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógenos es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Fernández y Rojas, 2006).

La acidez del suelo se debe a pérdidas de la base en suelos de zonas lluviosas por efecto de disolución de las mismas las que se percolan y se pierden por lixiviación en proporciones considerables. Los sitios del suelo que estaban siendo ocupados por las bases, son reemplazados por el ion hidrogeno el cual al pasar a la solución del suelo produce la reducción del pH y toxicidad en las plantas (Porta y López, 2008).

Padilla (2007), el crecimiento de las plantas, en suelos ácidos como alcalinos hacen que algunos nutrientes sean altamente insolubles a valores de pH altos, mientras que otros son menos disponibles a valores de pH bajo. La disponibilidad máxima para la mayoría de los nutrientes ocurre en el rango de pH de 6.5 a 7.5.

Los valores que favorecen a la mayoría de los nutrientes están disponibles para las plantas y por ende para el desarrollo de los cultivos a pH de 6.5 a 7.5 (Vázquez *et al.*, 2002), ya que el pH es muy importante en las propiedades del suelo por que regula las propiedades químicas del suelo, determina del suelo, determina la disponibilidad del resto de los cationes para las plantas e influye sobre la capacidad de intercambio catiónico que es menor en suelos ácidos que en los básicos (Báscones, 2005).

**Carbonatos Totales.** El carbonato de calcio es la principal fuente de calcio de los suelos, encontrándose en dimensiones variables, desde guijarros hasta en forma de polvo muy fino (Fassbender, 1975). Vargas (2006), concluyó que el calcio a pesar de su bajo contenido en las plantas en comparación con el nitrógeno, tiene una gran importancia por sus efectos sobre la química del suelo. Asimismo, Oliveira *et al.*, (2006) mencionaron que el calcio es responsable de varias propiedades del suelo: (1) favorece la estabilidad estructural del suelo, ya que mantiene floculada las arcillas y el humus; (2) reduce la acidez; (3) es antagonista de algunos elementos nutritivos, reduciendo su asimilación (K, Fe, Mn, B, Zn); (4) favorece la transformación de la materia orgánica y estimula la acción de los microorganismos fijadores de nitrógeno y nitrificadores; (5) forma fosfohumatos de cal con ácidos húmicos y fosfóricos, lo que permite la inmovilización temporal del fósforo, impidiendo su retrogradación.

**Conductividad Eléctrica (CE).** La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad que tiene un material conducir la corriente eléctrica. Cuando mayor es la concentración de sales en una solución del suelo, mayor es la corriente eléctrica que puede ser transmitida a través de ella. Por eso la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe) se utiliza como indicadora de la salinidad del suelo. El agua pura



es una mala conductora de la electricidad, mientras que el agua que contiene sales en solución puede conducir corriente en forma proporcional a la cantidad de sales disueltas (Padilla, 2002).

**Materia Orgánica (MO).** La materia orgánica del suelo es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos y sustancias producidas y vertidas por esos organismos. Esta definición incluye tanto a los materiales poco alterados como a aquellos que sí han experimentado cambios de descomposición, transformación y síntesis posterior dentro del suelo. Además, se pueden incluir compuestos orgánicos tóxicos, provenientes de las actividades industriales del hombre, como la contaminación de suelos por hidrocarburos del petróleo, que también constituye parte de la materia orgánica del suelo (Etchevers, 1988).

La descomposición de la MO es una de las funciones más importantes en ecosistemas terrestres, ya que esta regula el ciclo de nutrientes en el suelo. En el proceso de descomposición la materia muerta de las plantas, animales y microorganismos es oxidada y transformada por la comunidad de desintegradores (Stanier, *et al.*, 2005). Dados los requerimientos energéticos de las comunidades de desintegradores, es que tiene lugar el proceso de mineralización que da lugar a la transformación de compuestos orgánicos de la materia a sus formas inorgánicas liberando así los nutrientes minerales en el suelo. Según el grado de transformación de la MO, se pueden reconocer tres estados: materia orgánica fresca, productos de transformación hacia humus y el humus (Parra, *et al.*, 2003).

### **Función e importancia de la Materia Orgánica en el suelo**

La importancia que se le reconoce a la materia orgánica deriva de su intervención en procesos como la formación y estabilización de agregados, el ciclo bio-geoquímicos de nutrientes, el pH del suelo y el balance de agua y energía. Así, la materia orgánica tiene un papel importante en la retención de humedad, dado su

carácter hidrofóbico e interviene en el transporte de agua y solutos, como la adsorción-desorción de pesticidas (García, 2013). La materia orgánica desempeña muchas funciones importantes en los suelos, puesto que: se origina de los residuos vegetales; contiene la mayoría de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas; influye en la estructura de los suelos; los organismos presentes en el suelo dependen de ella para su alimentación y contribuyen al mismo tiempo proporcionando una condición física deseable al mezclar; crear túneles en su hábitat y participar en la mineralización (Vulca *et al.*, 2006).

Según Brechelt (2008) La materia orgánica tiene propiedades biológicas, químicas y físicas:

**Propiedades Biológicas.** Almacenamiento de energía metabólica, fuente de macro-nutrientes, estabilidad eco-sistémica (aumenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas perturbados), estimulación e inhibición del crecimiento vegetal.

**Propiedades Físicas.** Estabilización de la estructura del suelo (formación de enlaces con las superficies reactivas de las partículas minerales uniéndolas y formando agregados estables al agua), retención del agua (hasta 20 veces su peso). Baja solubilidad (no se lixivia con facilidad), color (altera las propiedades térmicas del suelo).

**Propiedades Químicas.** Alta capacidad de intercambio catiónico, alta capacidad tampón y efectos sobre el pH, quelación de metales (reduce la pérdida de micronutrientes, reduce la toxicidad potencial de los iones y aumenta el aprovechamiento del fósforo), interacción con pesticidas (altera la bio-degradabilidad, actividad y persistencia de los pesticidas en el suelo).

## **Nutrición Mineral**

**Nitrógeno (N).** El nitrógeno es constituyente de aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila, etc., y tiene un gran impacto en el crecimiento vegetativo. El N tiene influencia en la floración y fructificación, y por ende en el rendimiento del cultivo (Meléndez y Molina, 2002).

**Fósforo (P).** El fósforo es constituyente del ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos y ciertas enzimas. Cumple una función importante en el sistema de transferencia de energía dentro de la planta. El P es esencial para el crecimiento radical, en el proceso de floración, y en la formación de frutas y semillas (Meléndez y Molina, 2002).

**Potasio (K).** El K fomenta la fotosíntesis mediante la activación de numerosas enzimas que participan en este proceso, mejora la eficiencia en el consumo de agua al aumentar la presión osmótica de las células, volviéndolas más turgentes. De esta forma, las plantas bien provistas de K cierran rápidamente sus estomas, impidiendo la pérdida de humedad durante períodos de déficit hídrico. El K acelera el flujo y translocación de los productos asimilados, tales como los azúcares y almidones que son formados durante la fotosíntesis y luego transportados desde las hojas hasta los órganos de reserva (frutos, semillas, tubérculos, etc.) con la participación del K. Este elemento cumple un papel vital en el llenado de frutas, granos y semillas (Meléndez y Molina, 2002).

**Calcio (Ca).** El calcio (Ca) es requerido para mantener la integridad de la membrana y se encuentra en las paredes celulares en forma de pectatos de Ca. El calcio ayuda a mantener la integridad de la célula y la permeabilidad de la membrana celular, favorece el crecimiento y la germinación del polen, y activa gran cantidad de enzimas que intervienen en la mitosis, división y elongación celular. El Ca interviene

en la síntesis de proteínas y la transferencia de carbohidratos, y ayuda a desintoxicar la planta de la presencia de metales pesados. La deficiencia de Ca disminuye el crecimiento de la planta y del sistema radical, debilita los tejidos foliares haciéndolos más susceptibles al ataque de patógenos (Meléndez y Molina, 2002).

**Magnesio (Mg).** El magnesio es componente de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que se encarga de capturar la energía suplida por el sol durante el proceso de fotosíntesis. Además, sirve como cofactor en muchos procesos enzimáticos y de fosforilación. Estabiliza las partículas de ribosomas en la configuración para la síntesis de proteínas. La deficiencia de Mg se presenta como una clorosis intervenal en hojas maduras, que eventualmente podría causar defoliación. La deficiencia de Mg disminuye el crecimiento vegetativo y el llenado de frutos, acelera la maduración prematura y puede causar la caída de los frutos (Meléndez y Molina, 2002).

**Sodio (Na).** El sodio no es un elemento esencial para las plantas, pero puede ser usado en pequeñas cantidades, al igual que los micronutrientes, como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de clorofila. En algunas plantas, puede ser empleado como sustituto parcial de potasio y es útil en la apertura y el cierre de estomas, lo cual ayuda a regular el equilibrio interno de agua. Es necesario en pequeñas cantidades y coadyuva en el metabolismo de las plantas, la fotosíntesis, la ósmosis (movimiento de agua hacia dentro y fuera de las células de las plantas) y en el equilibrio iónico en el interior de sus células (Meléndez y Molina, 2002).

**Cobre (Cu).** En las plantas, el cobre activa ciertas enzimas implicadas en la síntesis de lignina y es esencial para diversos sistemas enzimáticos. También es necesario en el proceso de la fotosíntesis, esencial para la respiración de las plantas y coadyuvante de éstas en el metabolismo de carbohidratos y proteínas (Meléndez y Molina, 2002).

**Zinc (Zn).** Está involucrado en numerosas reacciones enzimáticas en procesos como la fotosíntesis, transporte de electrones, activación del ácido indolacético, etc. El Zn es importante en la regulación del crecimiento vegetal y participa como activador de numerosas enzimas como la anhidrasa carbónica, e interviene en la síntesis de proteínas. La deficiencia de Zn se presenta en los brotes nuevos de las plantas por ser un elemento inmóvil, como una clorosis intervenal en hojas jóvenes y una disminución del tamaño de las hojas y reducción del crecimiento. Como efectos adversos en el rendimiento, la deficiencia de Zn puede reducir el peso y tamaño de los frutos, y alterar la formación de granos y semillas (Meléndez y Molina, 2002).

**Boro (B).** El B participa en la síntesis del uracilo que sirve para la formación de RNA e interviene en actividades celulares como división, diferenciación, maduración, respiración, crecimiento, etc. El B ha sido asociado con la germinación y crecimiento del polen y puede afectar la prolongación del tubo polínico debido a su papel en la síntesis de la membrana plasmática y la pared celular. El B por lo tanto es esencial en el desarrollo de la flor y en la fecundación y su deficiencia reduce el cuaje de las flores y disminuye en forma severa el rendimiento de frutos y semillas. El B también cumple una función importante en el transporte de azúcares y otros compuestos orgánicos desde las hojas a los frutos (Meléndez y Molina, 2002).

**Manganeso (Mn).** El Mn cumple funciones de activador enzimático. Participa en la fotosíntesis y en la conversión de N nítrico en aminoácidos para la síntesis de proteínas. El Mn también participa en la síntesis de clorofila por lo cual los síntomas de deficiencia en las plantas generalmente se manifiestan como una clorosis en hojas jóvenes. La deficiencia severa de Mn puede disminuir la tasa de crecimiento de la planta (Meléndez y Molina, 2002).

**Hierro (Fe).** El Fe es requerido para la síntesis de clorofila y es parte esencial de los citocromos que se encargan de transportar los electrones durante los procesos de fotosíntesis y respiración. El Fe causa clorosis intervenal en hojas jóvenes, y al avanzar los síntomas las hojas se tornan por completo amarillas o blanquecinas (Meléndez y Molina, 2002).

**Capacidad de Intercambio Aniónico (CIA).** Los suelos también pueden adsorber aniones, aunque en la mayoría de los suelos, la cantidad de aniones adsorbidos es normalmente menor que la de cationes, A diferencia de la adsorción de cationes, la naturaleza de la adsorción de aniones (reversibilidad), y las reglas que la rigen, están sujetas a grandes variaciones de acuerdo a las condiciones del suelo y al anión considerado; esto se debe a que las adsorciones de aniones involucran a la carga variable.

Es la medida de la capacidad que posee un suelo de absorber aniones intercambiables y es equivalente a la carga positiva del mismo. Según Sánchez (1981), esta capacidad es importante en aquellos suelos con altos contenidos de sesquióxidos de Fe y Al; Moormann (1986) y Bohn *et al.*, (1993) también han establecido que este tipo de intercambio es de magnitud importante en los suelos fuertemente intemperizados, sobre todo a pH bajo.

Este tipo de intercambio es importante en el suelo por que afecta algunos nutrientes para la planta que se presentan en forma aniónica como son NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> y MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, además, Bohn *et al.*, (1993) establecen que los procesos de intercambio aniónico son muy importantes en problemas de contaminación de suelos, puesto que algunos pesticidas, como 2,4,5-T y EL 2,4-D, así como algunos metales pesados como el Cr y el As, se presentan aniónicas en el suelo.

Como ocurre en la CIC, la CIA también está afectada por el valor de pH del medio, aunque en este caso el intercambio de carga positiva depende de la disminución de pH, mientras mayor es la acidez del suelo (menor pH), mayor es la cantidad de un determinado anión que es retenida por él.

Según Bohn *et al.* (1993) y Porta *et al.* (1994) los aniones que mejor se ajustan al concepto de intercambio originado en cargas electrostáticas en el suelo son: Cl, NO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>, otros aniones importantes en el suelo, como los fosfatos, están sometidos a procesos de retención específica, en la cual las reacciones de intercambio se producen en el interior de los cristales; uno de los efectos más conocidos de la retención específica en el suelos es la fijación (retención en forma no intercambiable y por lo tanto no disponible para la planta) de fosforo que se presenta en muchos de ellos, sobre todo cuando son ácidos y presentan actividad del Al<sup>3+</sup> y del Fe<sup>3+</sup>.

**Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).** La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas. Éstas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca<sup>++</sup>), magnesio (Mg<sup>++</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), amonio (NH<sub>4</sub>), sodio (Na<sup>+</sup>) e hidrógeno (H<sup>+</sup>). Los primeros cuatro son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En los suelos ácidos, una gran parte de los cationes son hidrógeno y aluminio en diversas formas. También contribuyen a la CIC las clases, cantidades y combinaciones de los minerales arcillosos y las cantidades de materia orgánica y su estado de descomposición. Los cationes no son retenidos con las mismas energías de enlace. Los sitios de intercambio de la materia orgánica, solo enlazan en forma débil a los cationes. Las arcillas con gran capacidad de intercambio tienden a enlazar los cationes bivalentes como el Ca<sup>++</sup> y el Mg<sup>++</sup>, con más energía que el K<sup>+</sup>. Esta característica puede afectar la disponibilidad de los nutrientes. Los suelos con arcillas caoliníticas tienen una menor energía de enlace y, por lo tanto, para un nivel analítico determinado o un porcentaje de saturación de un elemento se mostrará una disponibilidad relativamente mayor. Si la CIC está neutralizada principalmente por calcio, magnesio, potasio y sodio, se dice que está saturada de bases. Sin embargo, si los cultivos o el

lixiviado han removido la mayor parte de los cationes básicos, el suelo está bajo saturación de bases o alto en saturación ácida. Las cantidades totales de cationes ácidos relativas a la CIC son una medida de la saturación ácida. Ésta también es una medida de las necesidades de encalado de un suelo (aplicar cal). (Miramintes, *et al*, 1999).



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Área de Estudio.

**Localización Geográfica.** El presente estudio se realizó en el Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Se localiza a 48 km al sur del municipio de Saltillo, Coahuila, con coordenadas geográficas de Latitud Norte 25° 04' y Longitud Oeste 100° 58' a 101° 03'. Colinda con los ejidos de Carneros, Tanque de Emergencia, San Miguel, La Hedionda, El Cercado y una parte con pequeños propietarios (Figura 1) (García, 1983).

**Topografía.** La altitud varía desde los 2100 m en los valles, hasta los 2400 m en la parte alta de la sierra, la superficie del rancho es de 6,704 ha, de las cuales 120 ha son aéreas de temporal y el resto de pastizal (García, 1983). La superficie total está constituida por 35% de sierra, 10% de lomeríos y 55% de valles (Arredondo, 1981).

**Geología.** El rancho se localiza en una zona de rocas sedimentarias principalmente calcáreas en las colinas y con suelos aluviales en el valle. La estructura geológica principal es el anticlinal de carneros, con un rumbo aproximadamente Este-Oeste, con tendencia hacia el norte. Las formaciones más recientes y que se depositan en las depresiones sinclinales que se forman entre los anticlinales se encuentran cubiertas por aluvión (Medina y De la Cruz, 1976).

**Suelos.** Los suelos de los valles corresponden a los suelos de pradera chernozem. Este tipo de suelo corresponde a los suelos aluviales, su profundidad varía desde 2 a 25 m. aproximadamente. Los suelos que existen sobre la ladera son coluvial de origen, y difieren de los que se encuentran en los llanos, porque el agua percolada tiende a moverse lateralmente en vez de hacerlo perpendicularmente a través del perfil; son los más susceptibles a la erosión. Y por último los suelos de la parte alta de la sierra, correspondiente a los bosques de piñoneros, son suelos forestales ricos en materia orgánica humus (Sierra, 1980). (COTECOCA-SARH (1979), lo ubica dentro de los denominados serozem grises del desierto, de origen aluvial, con profundidad de somera (0.25 cm), a profunda (más de 50 cm), la textura es de franco-arenoso a franco-

limoso, la estructura laminar, con presencia de sales; la consistencia es de ligeramente dura a dura, de color gris claro o blanco en seco y gris claro en húmedo. El drenaje interno es de regular a malo, con pedregosidad que varía de 0-10 y rocosidad de 0-12 por ciento. Hay áreas donde la roca madre u horizonte C aflora a la superficie. La reacción es de acida a alcalino con un pH de 6.0 a 8.5.

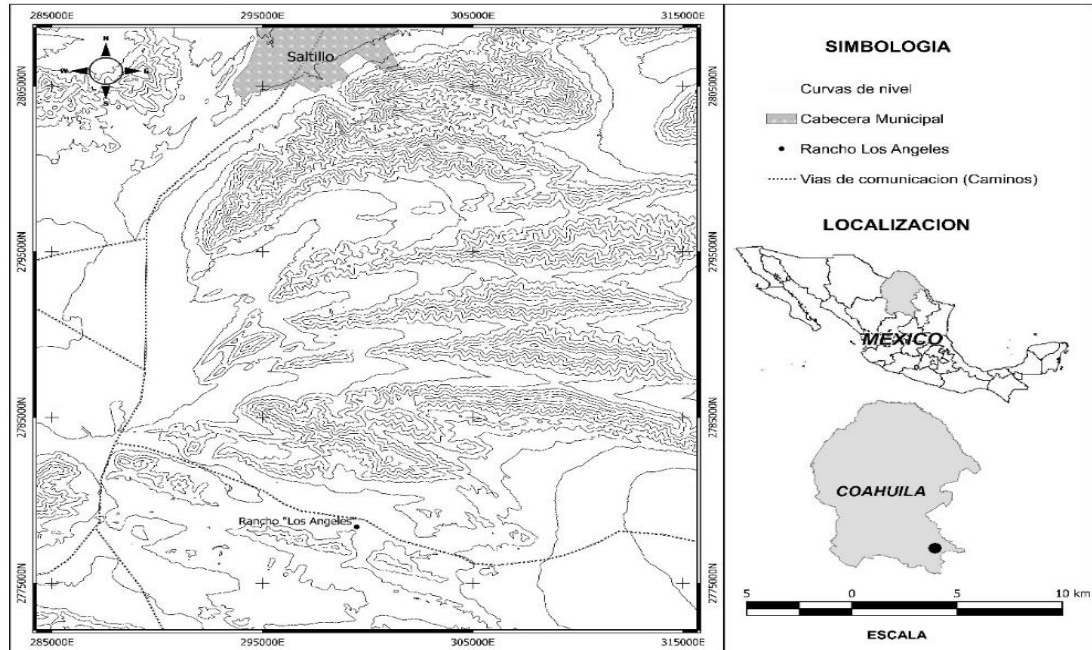


Figura 1. Localización geográfica de Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles.

**Clima.** La fórmula climática correspondientes a las zonas donde se localiza el rancho es la siguiente: BSoKw”. BSo es un subtipo de los Bs que se caracterizan por ser de los más secos de este tipo, con un cociente precipitación-temperatura (precipitación anual en mm y temperatura anual en °C) mayor de 22.9. Los BS son denominados climas secos o áridos en los que la vegetación más difundida consiste en asociaciones muy diferentes: asociaciones de cactáceas, matorral espinosos e inermes, K. significa que el clima es templado con veranos cálidos, temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre -3 °C y la del mes más caliente mayor a 18 °C. Cuenta con una precipitación pluvial anual promedio de 350mm., y 16 °C. de temperatura medio anual.

**Vegetación.** Las 6704 ha están representadas por 7 tipos de vegetación importantes para la ganadería del norte, noreste y noroeste de México y cubren una superficie aproximadamente 90 millones de hectáreas Vásquez (1973), los diversos tipos de vegetación representados en el rancho son los siguientes:

Pastizal mediano abierto, Pastizal amacollado, Matorral rosetófilo, Izotal, Matorral esclerófilo, Bosques de pino-encino, Matorral de Dasyliirion con pastos amacollados (Figura 2).



Figura 2. Tipos de vegetación en el Rancho Experimental Ganadero Los Ángeles (Vásquez, 1980).

La determinación de estos tipos de vegetación está hecha con base a las características siguientes: forma de vida, tamaño, forma y tamaño de las hojas, textura de las hojas y cobertura. Dentro de los pastizales las gramíneas ocupan un lugar importante en la producción pecuaria. La gran diversidad de gramíneas nativas de México es un reflejo del desarrollo mundial de esta familia. Es por esto por lo que existe tal variedad de características morfológicas y fisiológicas en los pastos mexicanos (COTECOCA, 1987).

## **Etapas de Estudio.**

El estudio se realizó en tres etapas, las cuales son:

**1). Recopilación de estudios bromatológicos.** Condado (2019) y Pacheco (2019), tipos de vegetación y por especie (Cuadros A1 y A2, respectivamente del Anexo A). Para su determinación se utilizaron técnicas descritas por Tejada (1985) utilizadas en el laboratorio de Nutrición Animal de la UAAAN, por del método de Weende, obteniendo cinco principios nutritivos: Humedad, Cenizas, Proteína Bruta, Extracto Etéreo, Fibra Bruta y Extracto No Nitrogenado, también como los menciona la AOAC (1990).

**2). Trabajo de Campo.** El trabajo de campo consistió en realizar un muestreo de suelo en los potreros 3, 5, 6, 7 y 8. Para su recolección también se tomaron en cuenta los diferentes tipos de vegetación en estos potreros del Rancho Los Ángeles de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, para el cual se utilizó un mapa topográfico que limita los tipos de vegetación, y la ubicación de los potreros (Figura 2), en el cual se seleccionaron los sitios al azar hechos en los muestreos de los estudios bromatológicos. Se utilizó: libreta de campo, cinta métrica 10 m, estacas de madera de 60 cm para ubicar puntos. Mazo, GPS (sistema de posicionamiento global), balanza analítica, marcadores permanentes, tijeras para cortar zacate, lápiz, bolsa de papel, bolsa de plástico, pala, barreta, cámara fotográfica digital.

**3). Trabajo de Laboratorio.** El suelo recolectado se envió a laboratorio para su análisis de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreos y análisis. Este laboratorio fue el de Sociedad Cooperativa Agropecuaria de la Laguna, SA de CV. Se determinó materia orgánica por el método de Walkley y Black; nitrógeno orgánico por el método Micro-Kjeldahl; textura por el método de Bouyoucos; determinación de fósforo por el método de Olsen; Capacidad de Intercambio Catiónico por el método de Acetato de Amonio 1N, pH 7; los micronutrientes hierro, manganeso, zinc y cobre por el método DTPA (ácido del dietilen-

triamino-pentaacético); el boro por el método de Azometina –H; el contenido de azufre por el método semicuantitativo con KCl (cloruro de potasio).

### **Análisis Estadístico**

**Correlación Lineal.** Se realizó el análisis de correlación lineal entre las variables de fertilidad de suelos y los resultados del análisis bromatológicas por tipo de vegetación y por especie. Con ello determinar la asociación entre variables de la calidad de uno y otro parámetro y definir una tendencia de la dirección y su magnitud de dicha.

$$Y = \alpha X + \beta$$

**Regresión Lineal.** Se realizó el análisis de regresión lineal con las variables de suelo ( $Y$ ) y vegetación asociadas por tipo y especie vegetal ( $X$ ). Se utilizará la variable valor nutricional de la vegetación por tipo y especie como dependiente de las características del suelo. Los parámetros de ecuación lineal son  $\alpha$  y  $\beta_0$ .

$$Y = \alpha + \beta_0 X$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ANALISIS BROMATOLÓGICO

**Tipo de Vegetación.** Los datos de los análisis bromatológicos para los tipos de vegetación en los potreros señalan que existen diferencias entre los diferentes tipos de vegetación y en aquellos potreros con poco uso del pastizal menor calidad nutricional en la vegetación encontrada en ellos. Sus datos se muestran en el cuadro anexo A1.

**Por Especie.** La especie con mayor valor nutricional es *Bouteloua gracilis*, está presente en el potrero 5 y 7, seguida de *Bouteloua hirsuta*, está presente en los potreros 5 y 6, la especie *Aristida curvifolia* con menor valor proteico, pero con mayor energía se encontró en potrero 6 y 7. Sus datos e encuentran en cuadro anexo A2.

### ANALISIS DE SUELOS

Los datos de los resultados del análisis del suelo para propiedades físicas, reacción del suelo, diagnostico de fertilidad aniones solubles y cationes intercambiables se muestran en los cuadros del 1 al 5, respectivamente.

**Propiedades Físicas.** En el Cuadro 1 se muestran las características físicas del suelo. Se observa suelos con textura franca y arenosa. Su CIC varía de 12 a 18 meq/100 g. La CC de los sitios es de un rango de los 24.27 a 26.46 % y, el PMP en un rango de 13.26 a 14.46 %, el por ciento de saturación varia de 48 a 52%. La CH se presentó más baja en el potrero 8, al igual que su proporción de suelo por volumen (Da) con valores de 1.311 y el más alto en el potrero 3.

**Cuadro 1.. Propiedades Físicas del Suelo**

POTRERO	TEXTURA	CIC (meq/100g)	CC	PMP	%S	CH (cm/hr)	Da gr/cm <sup>3</sup>
3	Arena franco	12.00	24.69	13.49	48.00	4.11	1.425
5	Arena franco	13.00	24.27	13.26	49.00	4.08	1.517
6	Migajón arenoso	17.00	26.1	14.26	51.00	3.96	1.336
7	Arena franco	18.00	24.42	13.34	50.00	4.21	1.405
8	Migajón arenoso	14.00	26.46	14.46	52.00	3.15	1.311

CIC: capacidad de intercambio catiónico, CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchites permanente, %S: % de saturación, CH: conductividad hidráulica, Da: densidad aparente.

### **Análisis del Suelo: Reacción del Suelo**

La reacción química del suelo se presenta en el cuadro 2. El potencial hidrogeno (pH) de los sitios va desde 7.73 a 7.85 suelos mediana mente alcalinos. El CO<sup>3</sup> se encuentra en un rango de 34.90 a 39.80%. La CE de los sitios va desde 0.39 a 0.59 miliSiemens/cm. La RAS varia de 0.33.49 a 0.4374 meq/l. el PAS tiene una categoría menor que va -0.619 a -0.772. El valor de los cationes que se encuentran en los sitios van desde 4.0376 a 5.7612 meq/100g y los aniones 3.5504 a 6.367 meq/100g de suelo.

**Cuadro 2. Reacción del Suelo**

POTRERO	Ph	% CO <sup>3</sup>	CE (mScm-1)	RAS (meq/l)	PSI (meq/100g)	Ca+ (meq/100g)	An- (meq/100g)
3	7.85	33.80	0.47	0.3634	-0.729	5.1733	4.5591
5	7.77	36.05	0.59	0.4374	-0.619	5.7612	6.367
6	7.85	39.80	0.46	0.3878	-0.693	4.8494	4.384
7	7.73	34.90	0.43	0.3349	-0.772	4.0376	4.7214
8	7.80	38.80	0.39	0.3557	-0.741	4.4511	3.5504

pH: potencial de hidrogeno, CO<sup>3</sup>: carbonatos totales, CE: conductividad eléctrica, RAS: relación de absorción de sodio, PSI: por ciento de sodio intercambiable, Ca+: cationes, An-: aniones.

### **Análisis del Suelo: Diagnóstico de Fertilidad**

El diagnóstico de fertilidad del suelo se presenta en el cuadro 3. El porcentaje de M.O que presentaron los sitios se encuentran en un rango de 3.04 a 3.56 %. El N-

NO<sub>3</sub> tiene una variación de 7.30 a 12.00 mg/l. En los macro elementos el P de los sitios tienen un rango de 15.60 a 18.20 (ppm), el K DE 82.00 a 145.00 (ppm), el Ca de 59.12 a 85.57 (ppm), el Mg de 1.96 a 3.04 (ppm), el Na de 9.65 a 15.27 (ppm). En los microelementos el rango del Fe es de 1.47 a 1.61 (ppm), el Cu de 0.32 a 0.44 (ppm), el Zn de 0.58 a 0.74 (ppm) y el manganeso presento valores altos en el potrero 6 (2.66 ppm) y en el 8 (2.57 ppm).

**Cuadro 3. Diagnóstico de Fertilidad**

	Potrero				
	3	5	6	7	8
pH	7.28	7.72	7.81	7.70	7.74
M.O%	3.20	3.04	3.14	3.56	3.19
N-NO <sub>3</sub>	8.20	9.10	12.00	7.30	8.10
P (ppm)	18.20	17.60	15.60	17.40	16.70
K (ppm)	121.00	82.00	119.00	84.00	145.00
Ca (ppm)	76.55	86.57	74.15	59.12	63.93
Mg (ppm)	2.07	3.04	2.07	1.96	2.07
Na (ppm)	11.86	15.27	12.46	9.65	10.65
Fe (ppm)	1.56	1.47	1.61	1.53	1.48
Cu (ppm)	0.32	0.41	0.35	0.33	0.44
Zn (ppm)	0.74	0.63	0.58	0.67	0.71
Mn (ppm)	2.35	2.41	2.66	2.47	2.57

pH: potencial de hidrogeno, M.O: materia orgánica, N-NO<sub>3</sub>: nitrato, P: fósforo, K: potasio, Ca, calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc, Mn: manganeso.

### **Análisis del Suelo: Aniones Solubles**

Los aniones solubles en el suelo se muestran en el cuadro 4. El potrero 3, 5 presenta igualdad en el grado de carbonatos 0.27 meq/l, y el potrero 5, 7 y 8 una igualdad de 0.55 meq/l. Los bicarbonatos están en un rango de 1.10 a 4.12 meq/l. Los cloruros varían desde 0.444 a 0.87912 meq/l y los sulfatos con rango de 0.82 a 1.24 meq/l.

**Cuadro 4. Aniones Solubles**

Aniones	Potrero				
	3	5	6	7	8
carbonatos	0.27	0.55	0.27	0.55	0.55
Bicarbonatos	2.20	4.12	2.85	2.15	1.10
Cloruros	0.87912	0.73704	0.444	0.78144	0.7104
Sulfatos	1.21	0.96	0.82	1.24	1.19



## Análisis del Suelo. Cationes Intercambiables

Los cationes intercambiables que están presente en el suelo se muestran en el cuadro 5. En el intercambio de calcio el potrero 5 presento mayor capacidad de intercambio en base al porcentajede saturación 4.320 meq/100g del suelo con 78.984 % de saturación, en menor capacidad de intercambio en el potrero 7 con 2.950 meq/100g de suelo con 73.053 % de saturación, en el intercambio de magnesio el potrero 3, 6 y 8 su capacidad de intercambio es igual 0.170 meq/100g de suelo, pero presentan diferencia en su porcentaje de saturación, el intercambio de potasio se presenta en un rango de 0.440 a 6.70 meq/100g de suelo, y su porcentaje de saturación en 9.073 a 14.54, el intercambio de sodio se encuentra en el rango de 0.418 a 0,661 y el porcentaje de saturación en 9.922 a 11.477.

Cuadro 5. **Cationes Intercambiables**

Cationes	Potrero									
	3		5		6		7		8	
	Meq/100g	%s	Meq/100g	%s	Meq/100g	%s	Meq/100g	%s	Meq/100g	%s
Ca	3.820	73.841	4.320	78.984	3.700	76.298	2.950	73.053	3.190	71.668
Mg	0.170	3.286	0.250	4.339	0.170	3.506	0.160	3.963	0.170	3.819
K	6.70	12.951	0.530	9.199	0.440	9.073	0.510	12.631	0.630	14.154
Na+	0.513	9.922	0.661	11.477	0.539	11.123	0.418	10.334	0.461	10.359

Ca: calcio, Mg: magnesio, K: potasio, Na+: sodio, meq/100g: miliequivalentes/100 gramos de suelo, %S: % de saturación.

## Análisis Estadístico

Para realizar el trabajo estadístico se hizo primero el análisis de correlación y conocer las características del suelo más asociadas a las características de calidad nutricional de los tipos de vegetación y después por especie. Se presentan las variables con mayor asociación entre si y se describe su grado de relación.

## Correlación y Regresión Simple

La relación que presenta el total de nutrientes digestibles (TDN1) y el fósforo (P) en el primer corte tiene una correlación positiva ( $r^2 = 0.861$ ). Al correr la información en el análisis de regresión lineal dio la ecuación  $y = 0.023 + 41.445X$ . Se explica que P juega un papel vital virtualmente en todos los procesos que requieren transferencia de energía en la planta. Los fosfatos de alta energía, que son parte de la estructura química de la adenosina difosfato (ADF) y de la ATF, son la fuente de energía que empuja una multitud de reacciones químicas dentro de la planta. El P es un componente vital de las sustancias que forman los genes y cromosomas. Las células de las plantas pueden acumular nutrientes en concentraciones mucho mayores a las que están presentes en la solución del suelo que les rodea. Esta condición permite que las raíces extraigan nutrientes de la solución del suelo donde se encuentran en concentraciones muy bajas. El movimiento de nutrientes dentro de la planta depende en mucho del transporte a través de las membranas de las células, proceso que requiere de energía para contrarrestar las fuerzas de osmosis.

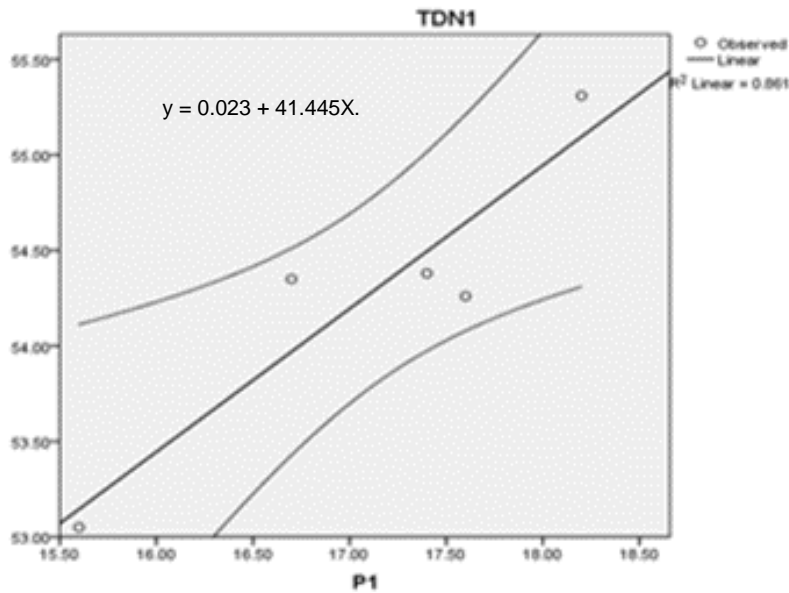


Figura 3. Regresión lineal simple en el primer corte de total de nutrientes digestibles (TDN1) y potasio (P1).

La relación que presenta las cenizas (CE1) y el potasio (K) en el primer corte tiene una correlación positiva ( $r^2=0.895$ ). Al correr la información en el análisis de regresión lineal dio la ecuación  $y= 0.040 + 2.862X$ . En las plantas, el potasio desencadena la activación de enzimas y es esencial para la producción de adenosina trifosfato (ATP). El ATP es una fuente de energía importante para muchos procesos químicos que tienen lugar en las células de la planta. El potasio desempeña un rol importante en la regulación del agua en las plantas (osmo-regulación). Tanto la absorción de agua a través de raíces de las plantas y su pérdida a través de las estomas, se ven afectados por el potasio, también mejora la tolerancia de la planta al estrés hídrico. La síntesis de proteínas y de almidón en las plantas requiere de potasio. El potasio es esencial en casi todos los pasos de la síntesis de proteínas. En la síntesis de almidón, la enzima responsable del proceso está activada por el potasio (Meléndez y Molina, 2002).

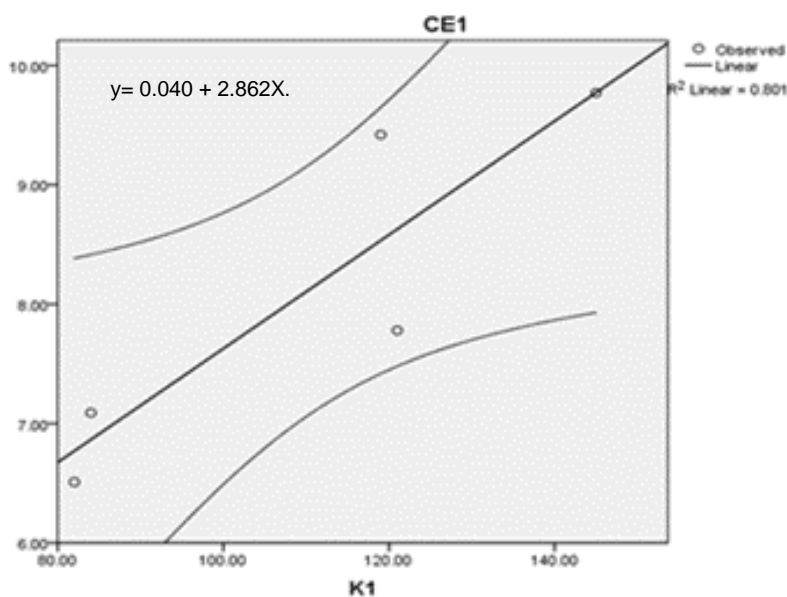


Figura 4. Regresión lineal simple en el primer corte de cenizas (CE1) y potasio (K1).

La relación que presenta la proteína cruda (PC2) y el sodio (Na) en el segundo corte tiene una correlación negativa ( $r^2=-0.958$ ). Al correr la información en el análisis de regresión lineal dio la ecuación  $y= 0.010 + 22.898X$ . El Na es un elemento benéfico para las plantas superiores porque puede sustituir parcialmente al K en funciones no

específicas, contribuyendo a la generación de potencial osmótico y turgencia celular, cuando el suelo es pobre en este elemento (Meléndez y Molina, 2002).

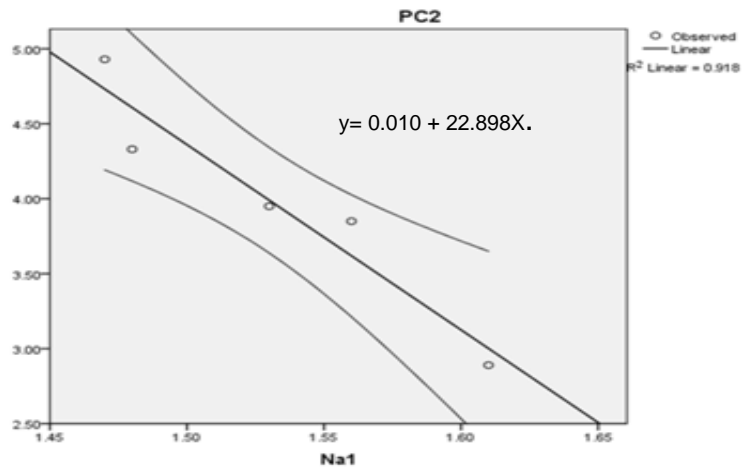


Figura 5. Regresión lineal simple del segundo corte de proteína cruda (PC2) y sodio (Na1).

La relación que presenta el total de nutrientes digestibles (TDN1) y el cobre (Cu) en el primer corte tiene una correlación positiva ( $r^2 = 0.912$ ). Al correr la información en el análisis de regresión lineal dio la ecuación  $y = 0.031 + 46.577X$ . En las plantas, el cobre activa ciertas enzimas implicadas en la síntesis de lignina y es esencial para diversos sistemas enzimáticos. También es necesario en el proceso de la fotosíntesis, esencial para la respiración de las plantas y coadyuvante de éstas en el metabolismo de carbohidratos y proteínas (Meléndez y Molina, 2002).

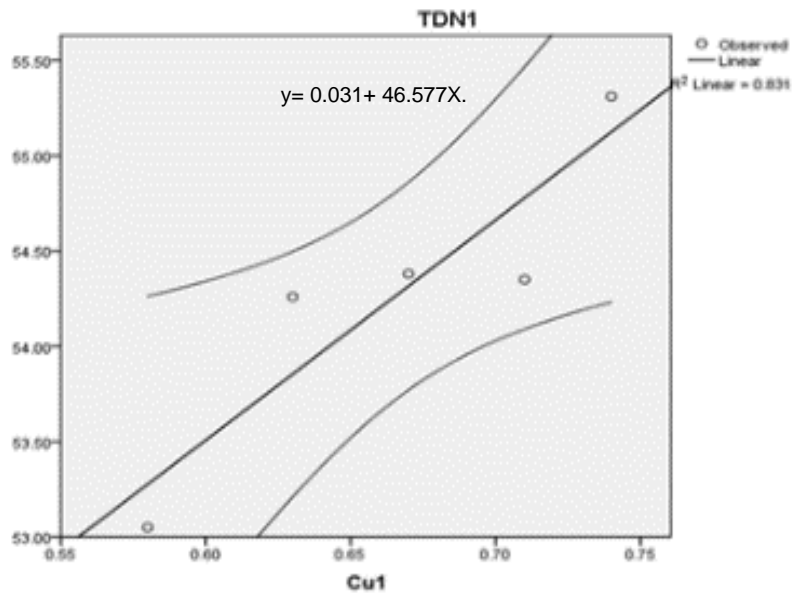


Figura 6. Regresión lineal simple del primer corte de total de nutrientes digestibles (TDN1) y cobre (Cu1).

La relación que presenta el total de nutrientes digestibles en el primer corte (TDN1) y bicarbonatos tiene una asociación positiva ( $r^2=0.974$ ). Al correr la información en el análisis de regresión lineal dio la ecuación  $y = 0.005 + 50.839X$ . Se explica por que los bicarbonatos en la planta sirven para el transporte de  $CO_2$  el cual favorece a la fotosíntesis que sirve para alimentar a la planta y la producción de materia orgánica. En el suelo el bicarbonato es de suma importancia ya que tiene propiedades antifúngicas lo cual un nivel alto podría afectar las micorrizas del suelo (Meléndez y Molina, 2002).

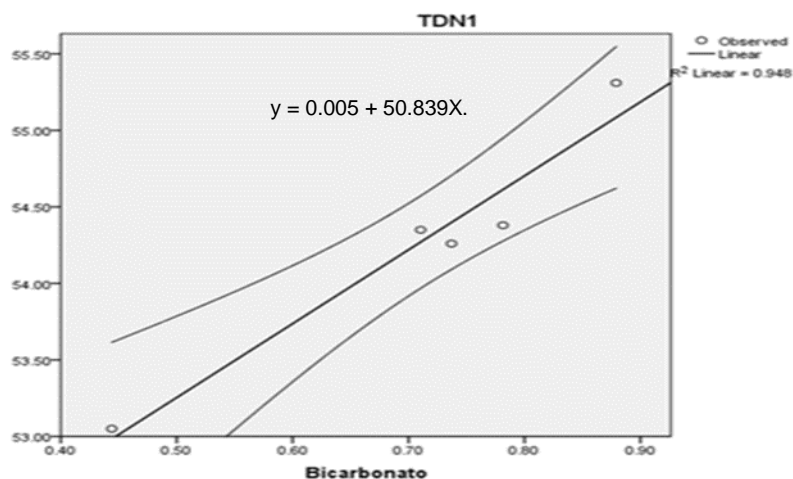


Figura 7. Regresión lineal simple del primer corte de total de nutrientes digestibles primer corte (TDN1) y (Bicarbonato).

### Otras Asociaciones Que Se Deben Considerar

**Materia orgánica (MO).** La materia orgánica representa una de las técnicas y estrategias a implementar en cualquier tipo de plantas o cultivos ya que produce efectos positivos sobre la producción rápidamente. Tal es así que los beneficios de la materia orgánica en el suelo son numerosos, pues genera efectos físicos, químicos y biológicos a las plantas que se ven reflejados en la rentabilidad, calidad y producción de los productos (Vulca *et al.*, 2006).

Así, entre los principales beneficios de la materia orgánica y la actividad biológica en el suelo, se encuentran:

**Físicas.** Mejora la estructura del suelo a través de la formación de agregados estables. Disminuye la densidad aparente del suelo. Disminuye los efectos adversos de la maquinaria agrícola sobre la vida en el suelo. Contribuye a reducir la erosión del suelo causada por el sol, la falta de agua y la compactación, en medida que tiene una conductividad térmica más baja que la fracción mineral aledaña. Ayuda a mantener la temperatura y masa biótica. Contribuye al aumento de la conductividad hidráulica del suelo como consecuencia de los espacios vacíos que se forman en la interface entre las partículas orgánicas y las minerales (Brechelt, 2008).

**Químicas.** Influye en la disponibilidad de nitrógeno que las raíces puedan encontrar en la masa biótica, ya que la generación de nitrógeno depende principalmente de la descomposición orgánica generada en la previa. Ayuda a la nutrición fosfórica de las plantas en medida que favorece el desarrollo de microorganismos fosfosolubilizadores. Los cuales actúan sobre los fosfatos insolubles en el suelo, enriqueciéndolo y generando una previa más fértil y nutrida para la alimentación del cultivo. Aumenta la disponibilidad de micronutrientes en las plantas, tales como: hierro, Manganeso, Zinc y Cobre. Impulsa la capacidad de intercambio catiónico. Contribuye a la absorción de moléculas de agua por encima de minerales pesados la obstaculizan cómo: hidroxílicos, aminoácidos, amídicos y cetónicos (Brechelt, 2008).

**Biológicas.** Almacenamiento de energía metabólica. Fuente de macronutrientes (Nitrógeno, Potasio y Sodio). Estabilidad ecosistémica (aumenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas perturbados). Juega un papel determinante en el crecimiento vegetal, pues puede inhibir o impulsar su desarrollo. Estimula el desarrollo y actividad de microorganismos proveyendo de energía y nutrientes necesarios para la vida. Favorece la presencia de lombrices para mejorar la estructura y fertilidad del suelo (Brechelt, 2008).

**El nitrógeno (N).** El nitrógeno es constituyente de aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila, etc., y tiene un gran impacto en el crecimiento vegetativo. El N tiene influencia en la floración y fructificación, y por ende en el rendimiento de las plantas (Meléndez y Molina, 2002).

**Calcio (Ca).** Es requerido para mantener la integridad de la membrana y se encuentra en las paredes celulares en forma de pectatos de Ca. El calcio ayuda a mantener la integridad de la célula y la permeabilidad de la membrana celular, favorece el crecimiento y la germinación del polen, y activa gran cantidad de enzimas que intervienen en la mitosis, división y elongación celular. El Ca interviene en la síntesis de proteínas y la transferencia de carbohidratos, y ayuda a desintoxicar la planta de la presencia de metales pesados. La deficiencia de Ca disminuye el crecimiento de la

planta y del sistema radical, debilita los tejidos foliares haciéndolos más susceptibles al ataque de patógenos (Meléndez y Molina, 2002).

**Magnesio (Mg).** El magnesio es componente de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que se encarga de capturar la energía suplida por el sol durante el proceso de fotosíntesis. Además, sirve como cofactor en muchos procesos enzimáticos y de fosforización. Estabiliza las partículas de ribosomas en la configuración para la síntesis de proteínas. La deficiencia de Mg se presenta generalmente como una clorosis intervenal en hojas maduras, que eventualmente podría causar defoliación. La deficiencia de Mg disminuye el crecimiento vegetativo y el llenado de frutos, acelera la maduración prematura y puede causar la caída de los frutos (Meléndez y Molina, 2002).



## CONCLUSIONES

En un análisis de las interrelaciones suelo / planta / pastizal se puede concluir que la vegetación y las especies tienen características nutritivas intrínsecas del suelo y de las especies y son afectadas en su producción y no en su valor nutricional.

El análisis del suelo refleja un deterioro o incremento degenerativo de sus valores nutricionales debido a la falta de disposición de nutrientes minerales.

El análisis de las características asociadas entre suelo / planta muestra una falta de integración del sistema y de los procesos que ocurren para su disposición; esto es debido al nivel alto de carbonatos totales. (suelos calcáreos, Ca y Mg). Los elementos que normalmente presentan baja disponibilidad en esta condición son: fósforo, hierro, zinc, manganeso, cobre y boro, ya que tienen un efecto antagónico en la formación de tejido vegetal de las plantas.

## RECOMENDACIONES

Se debe realizar un análisis microbiológico del suelo para evaluar si los microorganismos son fundamentales para mejorar la fertilidad del suelo, para que así los pastizales tengan un desarrollo vigoroso y sano.

Utilizar mejoradores del suelo de diferente origen y composición que al aplicarlos al suelo produce cambios en su fertilidad.

El uso de azufre inoculado, el polisulfuro de amonio y el estiércol, aplicados a suelos calcáreos, le producen una reducción en el pH y un aumento de la disponibilidad del fosforo.

## LITERATURA CITADA

- Arredondo**, D.G. 1981. Componentes de la vegetación del Rancho Demostrativo “Los Ángeles”. Tesis Profesional, UAAAN.
- Astier**, M., Maas, M., y Etchevers, J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36, 605-620.
- Bandick**, A.K., y Dick, R.P. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1471-1479.
- Báscones**, E. 2005. Análisis de suelo y consejos de abonado. p 10. (En línea). INEA. Consultado el 25 de octubre. 2019. Formato PDF. Disponible en <http://www.larioja.org>.
- Bohn**, H. L., B. L. MCNEAL y G. A. O'connor. 1993. *Química del suelo*. Limusa. México. 370 p.
- Bowker**, M.A.; Belnap, J Y Miller, ME. 2006. Spatial Modeling of Biological Soil Crusts to Support Rangeland Assessment and Monitoring. *Rangeland Ecol. Manage* 59:519–529.
- Brechelt**, A, 2008. La importancia de la materia orgánica en los suelos. *Ambiente*, F. A. y. M. (ed.). pp. 45.
- Cantú**, M., Becker, A., Bedano, J., Schiavo, H. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo*, 25, 173-178.
- Clymont**, M. 1974. *Biología básica de la producción animal por medio de pasturas*. En JAMES. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio sur. Recuperado el septiembre de 2018.
- Condado**, D. J.R. 2019. Productivo de biomasa y calidad nutricional del forraje en potreros del Rancho Ganadero Experimental Los Ángeles. Tesis de licenciatura. UAAAN.

- COTECOCA.** (Comisión Técnica Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero). 1979. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Ganadería. Coahuila. México. 255p.
- Cross,** C.L. y Waser, P.M. 2000. Estimating population size in the banner-tailed kangaroo rat. *The Southwestern Naturalist*, 45: 176–183.
- De la Rosa,** D. 2005. Soil quality and monitoring based on land evaluation. *Land Degradation & Development*, 16, 551-559.
- Dietl,** W., Fernández, F., Venegas, C. 2009. Manejo sostenible de praderas. Su flora y vegetación. Ministerio de Agricultura, Odepa, Santiago de Chile 1ª Edición.
- Doran,** J.W., y Zeiss, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15, 3-11.
- Doran,** J. W. y Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek y BA Stewart eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Special Publication N° 35. Wisconsin, USA.
- Etchevers** B. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Estado de México. 803 pp.
- Fassbender,** H. W. 1975. Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina. De la Cruz, M ed. Turrialba, Costa Rica. IICA. 385 p. (Serie: Libros y Materiales Educativos No. 24).
- Fernández,** L y Rojas, N. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. (En línea). Mx. Consultado el 12 de oct. 2019. Formato PDF. <http://www2.inecc.gob>.
- FAO.** (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. Atlas. In FAO. Atlas de Suelo de América Latina y El Caribe. Luxemburgo: Join Reserch center.
- FAO.** (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. El estado mundial de la agricultura y la alimentación: La ganadería a examen. Roma: FAO. 200 p.

- Flores, E.R.** 1999. Tambos alpaqueros y pastizales II: Mejoramiento de praderas naturales. Proyecto especial tambos alpaqueros. Boletín técnico LUP N° 12. Lima, Perú.
- Flores, E.R.** 1996. Realidad, limitaciones y necesidades de investigación del sector pecuario peruano. Latin America livestock regional assessment workshop. San Jose de Costa Rica Published by the Management Entity, Small Ruminant CRP, University of California, Davis, California 83-96.
- García, E.** 2013. Estrategias Para La Recuperación De Suelos Degradados En Ambientes Semiáridos: Adición De Dosis Elevadas De Residuos Orgánicos De Origen Urbano Y Su Implicación En La Fijación De Carbono, Tesis (Doctoral), Departamento de química agrícola, geología y edafología, Universidad de Murcia, España.
- García, D.**1983. Levantamiento Topográfico del rancho Los Ángeles. AGUAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Gallart, M. F.** 2017. La conductividad eléctrica del suelo como indicador de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de Albufera de Valencia. En España. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica de Valencia España. 34p.
- Gil-Stores, F., Trasar-Cepeda, C., Leiros, M.C., Seoane, S.** 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 877-887.
- Gómez-sal, A.** 2001. Aspectos ecológicos delos sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En *Agropecuaria y Desarrollo*. Eds. Labrador, J y Altieri, M.A. Mundi prensa. p. 83-119.
- Govaerts, B., K. Sayre D., and J. Deckers.** 2006. A minimum data set for soil quality assesment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil Till. Res.* 87: 163–174.
- Hanks, R. J. and G. L. Ashcroft.** 1980. *Applied soil physics: Soil water and temperature applications*. Springer-Verlag. Berlín. 159 p.

- Herrero, J.A.** 2005. Criterios e indicadores de manejo forestales sostenibles, una visión de futuro. Agrinfor.
- Herbel, C.H.** 1983. Principles of intensive range improvements. *Journal of range management*. 36(2):140-144.
- Huss, D.H., Bernandon, A., Anderson, D y Brun, J. M.** 1996. Principios de manejo de praderas naturales. FAO. INTA. Chile. 156p.
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., Doran, J. W.** 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy*, 74, 1-40.
- Karlen, D. L., M. J Mausbach; J.W Doran., R. G Cline; RF Harris., G. E Schuman.** 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.* 61:4-10.
- Krogh, S.N., Zeisset, M.S., Jackson, E. y Whitford, W.G.** 2002. Presence/absence of a keystone species as an indicator of rangeland health. *Journal of Arid Environments*. 50, 513-519.
- Lambers, H. F. Chapin III & T.Pons.** 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer Verlag. Berlin.
- Leitón S., y Santiago, J.** 1985. Riego y drenaje. Primera edición. Editorial UNED. San José Costa Rica. Pp. 153.
- Lok, Sandra. 2005.** Estudio y selección de indicadores de la estabilidad en el sistema suelo-planta de pastizales en explotación. Tesis presentada en opción al grado de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. Cuba.
- Luters, J.C., & Salazar, J.P.** 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Buenos Aires: United States Department of Agriculture, CRN-CNIA-INTA. 88 p.
- Martinez, R.O y Herrera, R.S.** 2005. Empleo del CUBA CT-115 para solucionar el déficit de alimentos durante la seca. In Herrera R.S ed. *Pennisetum purpureum*. CD-ROM. Instituto de Ciencia Animal, la Habana Cuba.

- Melendez, G y Molina, F. (2002).** FERTILIZACION PRINCIPIOS Y APLICACIONES, TESIS DE LICENCIATURA, Universidad de Costa Rica, Costa Rica 83p.
- Montengro, G. y D. Malagón. 1990.** Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Moormann, F. R. 1986.** Classification of Alfisols and Ultisols with low activity clays. In: Proceedings of a Symposium on Low Activity Clay (LAC) soils. SMSS technical monograph No. 14. Las Vegas. pp 1-12.
- Milton, S.J., Dean, W.R.J., DU Plessis, M.A. y Siegfried, W.R. 1994.** A Conceptual Model of Arid Rangeland Degradation. The escalating cost of declining productivity. BioScience Vol. 44 No 2, 70 – 76.
- Miramintes, F. B., Arroyo, V. L., Pérez, S. D., y Alva, R. M. 1999.** Manual de Técnicas Selectas de Análisis Químico y Físico de Suelo. Xochimilco, México. DF.: División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Dpto. de Producción Agrícola y Animal. UAM.
- Navarrete, A., Vela, G., López, J., & Rodríguez, M.L. 2011.** Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. Revista Contactos, 80, 29-37.
- Oliveira P, J. A. Afif K, E., Mayor L, M. 2006.** Análisis de suelos y plantas y recomendaciones de abonado. Austria, España. OVIEDO. 147 p.
- O'connor, J. 1991.** Las condiciones de producción. Por un marxismo ecológico, una introducción teórica. Ecología Política, 1, pp. 113-130 (ed. original 1987).
- Pacheco. C. Y. M. 2019.** Caracterización bromatológica de tres especies de gramínea, *Aristida curvifolia*, *Bouteloua gracilis* y *B. uniflora*. Tesis de licenciatura. UAAAN.
- Padilla, W. 2002.** Fertilización de suelos y nutrición vegetal. Clínica AgrícolaAgrobiolab. Quito.
- Padilla, W. 2007.** Fertilización de suelos y nutrición vegetal. Quito, EC. Clínica Agrícola. Agrobiolab. p 327.

- Parra M.,** Fernández E., Navarro C. y Arquero O. 2003. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en Zonas Calcáreas, Mundi Prensa, primera edición. 256 pp.
- Porta, J.,** López, M. 2008. Introducción a la edafología: Uso y Protección del Suelo. Cataluña, ES. Mundi-Prensa. p. 220-223.
- Porta, J.,** M. López., A., C. Roquero. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 807 p.
- Pyke, D.A.;** Herrick, J.E.; Shaver, P. y Pellant, M. 2002. Rangeland Health Attributes and Indicators for Qualitative Assessment. *Journal of Range Management*. 55, 584–297.
- Quiñónez, J.J.,** Gutiérrez, U.N., Valencia, C.M. y Martínez, J.J.2004. Relaciones suelo-vegetación en un sitio de sabana en el noreste de Durango. XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Conferencia. Simposio1. Trabajo 06. Cartagena de Indias. Colombia, p. 64.
- Sánchez, P.** 1981. Suelos del trópico: características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Primera edición en español, traducida por Edilberto Camacho, San José, Costa Rica.
- Schoenholtz, S.H.,** Van Miegroet, H., Burger, J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138, 335-356.
- Sierra Tristán, J.S.** 1980. Identificación de las gramíneas del rancho demostrativo Los Ángeles, Saltillo, Coahuila por sus características vegetativas. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 118p.
- Singer, M. y D. Munns.** 1999. Soilan Introduction. Cuarta Edición. Prentice Hall. USA.
- Stanier Y.,** Ingraham J., Wheelis M. y Painter P. 2005 Microbiología: segunda edición. Editorial Reverté. España. 768 pp.
- Suárez, E. B.** 2012. Digestibilidad in vitro de la materia seca y materia orgánica de 15 genotipos de triticale forrajero (X Triticasecali Wittmack) cosechados en la



localidad "Campo Sagrado", Torreón, Coahuila, durante el ciclo 2009-2010. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 1p.

- Valverde**, F., Córdoba, J. y Parra, R. 2001. Erosión de suelo causada por labranza con maquinaria agrícola (arado y rastra) en Carchi, Ecuador. Report for the USAID Soil Management CRSP. INIAP, Quito, Ecuador.
- Vargas** C, O. 2006. Estudio comparativo de la determinación de calcio y magnesio, intercambiable en el suelo por los métodos de espectrometría de absorción atómica y complexometría con el ácido etilendiaminotetraacético. Santander, Colombia. UIS. 72 p.
- Vásquez**, A. Santiago, G. Estrada, A. 2002. Influencia del pH en el crecimiento de quince cepas de hongos ectomicorrizógenos. Serie Botánica 73 (1): 1-15
- Vásquez**, A.R. 1973. Plan inicial de manejo de agostaderos en el rancho demostrativo Los Ángeles. Tesis Licenciatura. ESAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 93p.
- Vulca**, A., L. Meneses., R. Blas., S. Bello: "La materia orgánica importancia y experiencia de su uso en la agricultura", IDESIA, 24: 49- 61, 2006.
- Wang**, Q., Liu, J., Wang, Y., Guan, J., Liu, Q., & Lv, D. 2012. Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chronosequence. European Journal of Soil Biology, 53, 114-120.
- Westoby**, M., Walker, B. y NOY-MEIR, I. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. Journal of Range Management 42:266-274.
- Whitford**, W.G. 1995. Desertification: implications and limitations of the ecosystem health metaphor. In: Rapport, DJ, Gaudet, CL & Calow, P. (Eds), Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems, pp. 257–166. NATO ASI Series. Berlin: Springer-Verlag.

# ANEXOS

## Anexo A

### Análisis Bromatológico

*Cuadro A1. Perfil Nutricional del Forraje Situado en los Potreros 3, 5, 6, 7 y 8 del Rancho Ganadero Experimental los Ángeles (Condado, 2019).*

Variable	Potrero 3		Potrero 5		Potrero 6		Potrero 7		Potrero 8	
	1er. corte	2do. corte	1er. corte	2do. corte	1er. corte	2do. corte	1er. corte	2do. corte	1er. corte	2do. corte
CE%	7.78	7.09	6.51	6.82	9.42	7.57	7.09	7.59	9.77	7.98
PC%	2.63	3.85	2.20	4.93	2.42	2.89	2.42	3.95	3.17	4.33
FC%	41.44	41.30	44.19	42.38	42.50	39.27	44.44	44.13	42.28	41.00
EE%	1.51	1.82	1.48	2.03	1.17	1.50	1.28	1.82	1.65	1.82
ELN %	39.42	38.21	37.22	35.89	36.81	34.33	37.21	34.82	36.66	36.93
TDN %	55.31	56.08	54.26	55.93	53.05	50.59	54.38	54.98	54.35	55.12
EC (Kcal /100 g)	181.77	187.90	169.20	181.62	167.50	162.40	170.07	171.44	174.16	181.39

Datos presentados con autorización del autor (Condado 2019). CE: cenizas, PC: proteína cruda, EE: extracto etéreo, FC: fibra cruda, ELN: extracto libre nitrógeno, TDN: nutrientes digestibles totales, E: energía

*Cuadro A2. Resultado del Análisis Bromatológico por Tipo de Especie (Pacheco, 2019).*

POTRERO	VEGETACION	SITIO	CE%	PC%	EE%	FC%	ELN%	TDN%	E/100G
6	MATORRAL	1	7.71	3.94	1.8	52.63	20.83	48.54	115.29
		2	7.67	5.03	2.01	52.28	19.91	48.91	117.82
		3	6.72	6.78	2.09	48.13	27.96	54.35	157.74
		4	6.79	3.5	1.76	49.47	30.82	54.09	153.34
		5	7.13	3.28	1.89	50.49	24.18	49.66	126.83
7	PASTIZAL MEDIANO ABIERTO	1	7.71	2.63	2.44	49.09	25.23	50.37	133.34
		2	9.16	2.63	2.92	48.58	25.56	51.35	139.06
		3	9.68	2.84	2.12	48.75	25.61	50.02	132.95
		4	9.63	2.84	2.49	51.09	23.69	50.48	128.51
		5	11.97	2.75	2.75	48.42	23.29	50.48	126.62
7	IZOTAL	1	4.96	1.53	2.62	54.21	27.73	54.34	140.57
		2	4.5	2.41	2.48	55.02	25.73	53.69	134.92
		3	4.23	1.98	2.15	50.51	32.18	55.21	155.92
		4	4.05	1.94	2.26	49.9	33.01	55.77	160.23
		5	3.42	1.89	1.9	51.65	31.65	54.88	151.56

Datos presentados con autorización de los autores (Pacheco 2019). CE: cenizas, PC: proteína cruda, EE: extracto etéreo, FC: fibra cruda, ELN: extracto libre nitrógeno, TDN: nutrientes digestibles totales, E: energía.

## Anexo B

Cuadro B1. Regresión lineal del Análisis Bromatológico y Análisis del Suelo.

REGRESION	R2	SIGNIFICANCIA	CONSTANTE	B1
CE1- textura	.894	.015	4.658	2.468
ETL 2-CIC	.756	.056	43.869	-5.29
EC2-CIC	.787	.045	227.900	-3.443
CE1-CC	.969	.002	-26.785	1.386
CE1-PMP	.969	.002	-26.694	2.529
ELN1-PORO	.700	.077	67.114	-.593
CE2-PORO	.768	.051	-5.240	.253
PC1-CH	.777	.048	5.523	-.757
CE1-Da	.866	.022	31.054	-16.399
CE2-Da	.856	.024	14.688	-5.203
FC1-pH	.794	.042	215.942	-22.176
FC2-pH	.792	.043	281.394	-30.741
CE2-CE	.837	.030	10.016	-5.569
CE1-AN	.714	.071	13.664	-1.177
PC1-AN	.702	.077	3.988	-.301
CE2-AN	.765	.052	9.244	-.389
ELN1-pH	.968	.002	77.455	-5.228
TDN1-pH	.700	.077	78.681	-3.191
EC1-pH	.846	.027	363.059	-24.904
ELN2-pH	.645	.102	81.932	-5.999
TND1-NNO3	.654	.097	57.457	-.356
TDN2-NNO3	.741	.061	64.071	-1.066
TDN1-P	.861	.023	41.445	.750
TDN2-P	.834	.030	19.070	2.074
EC2-P	.672	.089	35.417	8.277
CE1-K	.801 5	.040	2.862	.048
PC1-K	.759	.054	1.248	.012
FC1K	.716	.071	47.459	-.041
CE2-Na	.708	0.74	9.967	-.035
TND1-Cu	.831 4	.031	46.577	11.551
ELN2-Cu	.753	.057	21.686	21.546
ELN2-Cu	.753	.057	21.686	21.546
EC2-Cu	.657	.096	91.560	128.213
TND1-Zn	.758	.055	68.330	-5.642
TDN2-Zn	.732	.064	93.354	-15.576
PC1-CARBONATOS	.792	.043	3.304	-.296
CE2-CARBONATOS	.676	.087	8.251	-.339
TDN1-BI	.948 1	.005	50.839	4.830
TND2-BI	.886 3	.017	45.218	13.123
EC2-BI	.702	.077	140.100	51.873
TND1-SULFATOS	.652	.098	50.459	3.516
CE2-CALCIO	.708	.074	9.967	-.711
PC2-Na	.918 2	.010	22.898	-12.358
EE2-Na	.756	.056	6.160	-2.851

CE: cenizas, PC: proteína cruda, EE: extracto etéreo, FC: fibra cruda, ELN: extracto libre nitrógeno, TDN: nutrientes digestibles totales, E: energía, CIC: capacidad de intercambio catiónico, CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchites permanente, %S: % de saturación, CH: conductividad hidráulica, Da: densidad aparente, pH: potencial de hidrogeno, CO<sup>3-</sup>: carbonatos totales, CE: conductividad eléctrica, RAS: relación de absorción de sodio, PSI: por ciento de sodio intercambiable, Ca+: cationes, An-: aniones, pH: potencial de hidrogeno, M.O: materia orgánica, N-NO3: nitrato, P: fósforo, K: potasio, Ca, calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc, Mn: manganeso, Bi: bicarbonato.

