



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CONCENTRACIONES
DE SELENIO EN SUELO, FORRAJE Y SANGRE
DE BOVINOS CLINICAMENTE SANOS
BAJO CONDICIONES DE PASTOREO
EN EL TROPICO HUMEDO Y ALTIPLANO MEXICANO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
P R E S E N T A :
LAURA ANGELICA ESPINOSA JUAREZ

ASESORES: MVZ. MSc. RENE ROSILES MARTINEZ
MVZ. MSc. ARTURO F. OLGUIN Y BERNAL



MÉXICO, D.F., 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A tí, Dios,
porque tu fortaleza
se puso de manifiesto en mí.

A tí, mamá,
por tu grandeza como ser humano y
por tu inquebrantable fe en mí,
¡Gracias!

A tí, papá,
Por los gratos momentos
que hemos pasado.

A ti, hermano,
por crecer conmigo
y por ser quien eres,
mi primer maestro;
por todo el apoyo
que me has brindado,
¡Gracias!

A la memoria
de un gran amor... Moisés (†)

A mis abuelitas Natalia (†) e Isabel (†),
por enseñarme a amar
y respetar la vida.

A mi abuelito
Narciso de los Santos (†),
por el amor incondicional
que me brindó.

A Binky(†), Puky (†) y Kimba,
¡gracias!, por creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores,
por su valiosa asesoría,
¡muchas gracias!

Al Dr. René Rosiles Martínez,
por enseñarme
sobre el coraje y la tenacidad;
por descubrir a "estrellita".

Al Dr. Pedro Ochoa Galván,
por enseñarme
sobre la tolerancia
y mostrarme un sinfín de posibilidades.

Al Dr. Arturo F. Olgún y Bernal,
Simplemente, ¡gracias!

Al Dr. Ernesto Dávila de la Parra y
al Dr. Marcelino Gracia Pérez
agradezco expresamente
su valiosa colaboración,
al brindarme todas las facilidades
para la realización del muestreo
en los ranchos de su propiedad.

Al Dr. Sergio Angeles Campos,
por brindarme su apoyo
y la oportunidad
de formar parte del
Departamento
de Nutrición Animal.

A los laboratoristas Aurelia Cruz
y Jaime Ballinas
por su capacitación
en el laboratorio de Toxicología
y por brindarme su amistad.

A mis amigos,
Lilián, Luz Ma,
Juanita, Mariano, Raúl,
Viole, Claus, Manuel, Lupita y Juan Jo,
por hacerme sonreír muchas veces
y por compartir nuestros sueños.

A mis sinodales
por su atinada orientación.

A todos mis profesores
que participaron en mi formación,
¡muchas gracias!.

Al Dr. Sergio Mendizábal
por ser mi guía
para poder reencontrarme
y poder darle un sentido
más pleno a mi vida,
¡gracias!

CONTENIDO

Capítulo	Página
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.	
1.1. Generalidades.....	3
1.2. Funciones del selenio en el organismo animal.....	4
1.3. Metabolismo del selenio dentro del organismo animal.....	11
1.4. El selenio en la relación suelo-planta.	
1.4.1. El selenio en el suelo.....	12
1.4.2. El selenio en las plantas.....	14
1.5. Antecedentes de los estudios realizados sobre el contenido de selenio en suelo, forraje y sangre de bovinos.....	18
1.6. Requerimientos de selenio en los bovinos.....	25
1.7. Interacción del selenio con otros elementos.....	27
2. JUSTIFICACIÓN.....	30
3. HIPÓTESIS.....	31
4. OBJETIVOS.....	32
5. MATERIAL Y METODOS.	
5.1. Localización geográfica de las zonas de muestreo.....	33
5.2. Especificaciones sobre el muestreo de suelo y forraje.....	34
5.3. Especificaciones sobre el muestreo sanguíneo de los animales.....	36
5.4. Especificaciones sobre el procesamiento de las muestras en el laboratorio.....	37
5.5. Metodología para la medición del pH a partir del suelo.....	37
5.6. Metodología para la determinación de materia orgánica de los suelos.....	38
5.7. Metodología para la determinación de la concentración de selenio.....	39
5.8. Determinación de otros elementos minerales.....	39
5.9. Análisis estadístico.....	40

6. RESULTADOS	
6.1. Contenido de selenio, pH y materia orgánica en los suelos.	42
6.2. Contenido de selenio en los forrajes.....	43
6.3. Contenido de selenio sanguíneo.....	43
6.4. Determinación de otros elementos minerales.....	44
7. DISCUSIÓN.....	48
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	61
8. LITERATURA CITADA.....	62

INDICE DE CUADROS

Número	Título	Página
1	Contenido de minerales, materia orgánica y pH de los suelos de Catemaco, Veracruz y León, Gto.....	67
2	Contenido mineral de las gramíneas y leguminosas de Catemaco, Veracruz	68
3	Contenido mineral de los forrajes de Catemaco, Ver.....	69
4	Contenido mineral de las gramíneas de León, Guanajuato.....	70
5	Contenido mineral de los forrajes de León, Gto.....	70
6	Contenido mineral sanguíneo de los bovinos procedentes de Catemaco, Ver. y León, Gto.....	71
7	Niveles de selenio sanguíneo de bovinos de catemaco, Ver. y León, Gto.....	71
8	Indices de correlación del contenido de minerales sanguíneos de bovinos.....	72
9	Indices de correlación del contenido de minerales sanguíneos de bovinos de Catemaco, Ver.....	73
10	Indices de correlación del contenido de minerales sanguíneos de bovinos de León, Gto.....	73

INDICE DE FIGURAS

Número	Título	Página
1	Mapa de localización de Catemaco, Veracruz.....	74
2	Mapa de localización de León, Guanajuato.....	75
3	Contenido de selenio de los suelos de Catemaco, Ver. y León, Gto.....	76
4	Contenido de selenio de las gramíneas y leguminosas de Catemaco, Ver.....	76
5	Contenido de selenio de los forrajes procedentes de Catemaco, Ver.....	77
6	Contenido de selenio sanguíneo de bovinos procedentes de Catemaco, Ver. y León, Gto.....	77
7	Niveles de selenio sanguíneo de los bovinos de Catemaco, Ver.....	78
8	Niveles de selenio sanguíneo de los bovinos de León, Gto.....	78

RESUMEN

ESPINOSA JUÁREZ LAURA ANGELICA. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CONCENTRACIONES DE SELENIO EN SUELO, FORRAJE Y SANGRE DE BOVINOS CLÍNICAMENTE SANOS BAJO CONDICIONES DE PASTOREO EN EL TRÓPICO HÚMEDO Y ALTIPLANO MEXICANO. (Bajo la asesoría de los asesores MVZ. MSc René Rosiles Martínez y MVZ. MSc. Arturo F. Olgún y Bernal.)

El presente trabajo es una aportación al estudio comparativo del contenido de minerales en dos regiones de la República Mexicana. Este se implementó con la finalidad de identificar el contenido de selenio (Se) en suelo, forraje y sangre de bovinos en pastoreo, mediante un muestreo al azar en Catemaco, Ver. y León, Gto. Se determinó el pH del suelo con un potenciómetro de membrana de vidrio y la materia orgánica por medio de incineración de la muestra. El pH del suelo en Catemaco fue de 4.42 ± 0.6 y el contenido de materia orgánica de $25.7 \pm 1.0\%$. El pH de León fue de 6.1 ± 0.1 y la materia orgánica de $7.7 \pm 0.9\%$. Para la medición de Se las muestras de suelo se sometieron a una extracción ácida, mientras que las muestras de forraje y sanguíneas se digirieron con ácido nítrico en un horno de microondas para su lectura por espectrofotometría de absorción atómica acoplada con generación de hidruros. El contenido de selenio de suelos procedentes de Catemaco, Ver. fue de 41.1 ± 4.7 ng/g y de los suelos de León, Gto. fue de 60.4 ± 8.3 ng/g, es decir, ambos suelos, se encontraron deficientes en selenio (< 500 ng/g). Los forrajes de Catemaco, Ver. se encontraron dentro de lo que la literatura reporta como adecuado (100 ng/g), las leguminosas con 155.7 ± 54.3 ng/g y las gramíneas con 198.4 ± 37.2 ng/g; mientras que los forrajes (gramíneas) de León, Gto. se encontraron con valores inferiores al límite de detección (9.3 ng Se/g). El selenio sanguíneo de los animales de ambas zonas geográficas se encontró deficiente. Sin embargo, los animales de Catemaco, Ver. resultaron con un contenido más bajo (32.2 ± 2.1 ng Se/g) al compararlos con los de León, Gto. (45.2 ± 22.4 ng Se/g) con una $P < 0.0001$. Además, los suelos y forrajes presentaron un alto contenido de hierro que se haya asociado con una baja disponibilidad del selenio. Se concluye que se encontraron deficientes en selenio los suelos, forrajes y sangre de los animales de León, Gto. y los suelos y sangre de los animales procedentes de Catemaco, Ver. Esta deficiencia de selenio se asocia al bajo contenido de selenio per se y al pH ácido del suelo que bloquea la disponibilidad del Se; por lo que se recomienda suplementar la ración alimenticia de los animales.

ABSTRACT

Comparative selenium levels in soil, forage and blood of clinically healthy cattle grazing in the Mexican humid tropic and highlands.

This study is a contribution to understanding selenium concentrations (Se) in soil, forage and blood of cattle under grazing conditions through aleatory sampling at Catemaco, Veracruz and Leon, Guanajuato. Soil pH at Catemaco was 4.42 ± 0.6 and at Leon 6.1 ± 0.1 . Soil organic matter was $25.7 \pm 1\%$ and $7.7 \pm 0.9\%$, respectively. Selenium in soil samples was measured after acid extraction, whereas forage samples and blood were digested with nitric acid, using the microwave technology. Selenium concentration was read using atomic absorption spectrophotometry with hydride generation. Selenium content in soils at Catemaco was 41.1 ± 4.7 ng/g and at Leon was 60.4 ± 8.3 ng/g. Both soils, were considered Se-deficient (< 500 ng/g). Selenium concentrations in forages at Catemaco were similar to those reported in the literature and were considered adequate (100 ng/g). Legumes had 163.1 ± 65.5 ng/g and grasses, 198.4 ± 37.2 ng/g, at Catemaco whereas Se content in grasses at Leon were below the detection limit (9.3 ng/g). Bovine blood Se concentration in both areas was considered deficient. However, animals at Catemaco had lower content (32.2 ± 2.1 ng Se/g) compared to animals from Leon (45.2 ± 22.4 ng Se/g), with a $P < 0.0001$. In addition to Se, iron and zinc were also measured in blood. A positive and significant association was found between Fe and Zn ($r = 0.46$, $P < 0.0001$). Also, soils and forages had a high content of Fe, which is associated with a low availability of Se. All the measurements from Leon (soil, forage and blood) were considered deficient in Se, as well as soils and bovine blood from Catemaco. Selenium deficiency in grazing animals is associated to a low content in soil and to acid Ph, which low is Se availability. Because of these findings, Se supplementation is strongly recommended, in order to improve bovine performance in these two Mexican regions.

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES.

El ganado en pastoreo, sometido exclusivamente a un régimen de consumo de forrajes, frecuentemente manifiesta deficiencias nutrimentales, entre ellas los minerales, que se traduce en bajos parámetros productivos y reproductivos. ^{1,2}

Los minerales son nutrimentos necesarios para todos los animales, su importancia radica en que muchos de ellos, realizan una función *estructural* como el P, Ca, Mg, F y Si; *fisiológica*, al constituir tejidos y electrolitos en fluidos corporales e intervenir en el mantenimiento de la presión osmótica, equilibrio ácido-básico, permeabilidad de la membrana celular como el Na, K, Cl, Ca y Mg; *catalítica*, en sistemas enzimáticos y como componentes integrales de la estructura de metaloenzimas necesarias para el funcionamiento normal del metabolismo como el Fe, Cu, Zn, Mn y Se; y *reguladora*, al intervenir en la regulación de la replicación y diferenciación celular como el Ca y Zn, cuya deficiencia se verá reflejada en una reducción en la eficiencia productiva animal. ^{2,3,4,5}

El selenio fue descubierto en el año 1818; sin embargo, fue hasta 1935 cuando se le consideró como un factor tóxico presente en el forraje,

que provocaba una alteración en el ganado mantenido en pastoreo en las grandes planicies de los EUA, conocida como enfermedad del álcali o vértigo ciego. La importancia del selenio en la nutrición animal, se hizo patente en 1957, al comprobarse que la mayoría de las miopatías del ganado vacuno y ovino, así como la diátesis exudativa de los pollos, podían prevenirse suplementando las raciones alimenticias con selenio y vitamina E.^{2,5,6,7}

1.2. FUNCIONES DEL SELENIO EN EL ORGANISMO ANIMAL.

En presencia de un metabolismo acelerado, como es el caso de animales que se encuentran en un sistema de producción intensivo lechero moderno con la finalidad de incrementar la producción láctea por medio de la selección genética, se genera un aumento en el metabolismo energético de la vaca para poder cubrir sus necesidades, esta condición favorece un aumento del metabolismo del oxígeno. Entre el 1% y 5% del oxígeno se convierte en metabolitos o especies reactivas del oxígeno (ROS), entre los cuales se encuentran: superóxido (O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radicales peroxilo (ROO^*) e hidroxilo (OH^*), que alteran diversos procesos fisiológicos, generando una condición conocida como "estrés oxidativo".^{8,9,10} Esta condición ocurre a nivel celular, cuando ROS son producidos rápidamente y no pueden ser removidos por los mecanismos antioxidantes de defensa o cuando los ROS exceden la

capacidad de dichos antioxidantes. Los radicales libres ejercen su acción patógena dañando la integridad de membranas celulares. Las cadenas de ácidos grasos particularmente poliinsaturados, se fragmentan justamente por el carbono que se ha transformado en radical libre, con lo que las estructuras fosfolípídicas de las membranas se desorganizan y destruyen.^{9,11}

No obstante, existen varios sistemas bioquímicos presentes en las células y fluidos extracelulares que intervienen en la remoción de esos metabolitos reactivos de oxígeno.¹¹

La importancia del selenio en la salud y producción animal, fue demostrada en el año 1973, al descubrir que forma parte de la glutatión peroxidasa (GSH-Px), enzima que proporciona una segunda línea de defensa contra peróxidos, antes de que puedan propagarse en reacciones en cadena, lesionando membranas y otros componentes celulares.² Esta enzima interviene en la oxidación del glutatión reducido y utiliza los equivalentes reductores resultantes para convertir los hidroperóxidos en alcoholes que provocan lesiones menores a las membranas celulares que se ven expuestas a la lipoperoxidación.¹¹

En los eritrocitos y otros tejidos, la glutatión peroxidasa protege a los lípidos de membrana y a la hemoglobina contra la oxidación por los peróxidos que pueden reducir la duración de la vida del eritrocito al incrementar la velocidad de oxidación de la hemoglobina a metahemoglobina.² Además, forma parte de otras selenoproteínas como: La selenoproteína P, principal componente del selenio plasmático, que muestra una fuerte tendencia a unirse con metales pesados y ejerce un efecto protector contra la intoxicación por cadmio, mercurio y plomo.^{2,4} La glutatión peroxidasa plasmática (GPx₂) que se encuentra en los compartimentos extracelulares y es expresada en varios tejidos que están en contacto con líquidos corporales, como el riñón e interfase materno- fetal, sintetizada principalmente en el riñón por el epitelio del túbulo proximal y las células parietales de la cápsula de Bowman, se libera a la sangre, lo que le confiere protección a las membranas comprometidas en la filtración de la sangre y producción de orina, así como a las células endoteliales.² La fosfolípido hidroperóxido glutatión peroxidasa (GPx₃), es capaz de metabolizar los fosfolípidos hidroperóxidos que no son metabolizados por la forma clásica GSH-Px; además de metabolizar peróxidos lipídicos en liposomas y en lipoproteínas de baja densidad.¹² La glutatión peroxidasa gastrointestinal (GPx₄), que provee una barrera contra la ingestión de hidroperóxidos derivados de la dieta.²

En la bibliografía consultada, se cita al ganado ovino como el que sufre de manera más acusada la carencia de selenio, proceso que afecta a corderos principalmente durante las primeras semanas de vida, debido a la gran demanda de selenio en la etapa de desarrollo muscular, tras procesos de replicación y crecimiento celular intensos, que requieren de una elevada actividad antioxidativa. Los corderos dependen del aporte de selenio que reciben a través de la leche de su madre y si ésta se encuentra deficiente en selenio, puede provocar que el animal no sea capaz de combatir los efectos de los radicales libres generados durante un intenso metabolismo. La deficiencia de selenio en los animales domésticos en México, fue diagnosticada en becerros que habían recibido una dieta artificial a base de sustituto lácteo, como "miopatía degenerativa nutricional", "enfermedad del músculo blanco" o distrofia muscular enzoótica, que afecta sobre todo a terneros durante los primeros meses de vida, siendo los individuos de aptitud cárnica los más predispuestos, ya que presentan un crecimiento más rápido y un mayor desarrollo de fibras musculares, en comparación con animales con aptitud lechera.^{13,14,15,16,17,18}

En animales adultos, la deficiencia de selenio se encuentra como uno de los factores predisponentes de problemas reproductivos, en especial la infertilidad, asociada con pérdidas embrionarias, que continúan siendo la principal causa de desecho en los hatos lecheros. La

oxidación celular asociada con una deficiencia de selenio es considerado un factor nutricional predisponente.¹⁹ El selenio influye en la fertilidad del macho al afectar la calidad del semen, al proteger a la membrana espermática del ataque peroxidativo e intervenir en la motilidad espermática y la secreción de testosterona y expresión de receptores a LH.^{19,20} El selenio también influye en la fertilidad de la hembra, debido a que juega un papel regulador en la síntesis de esteroides y la proliferación de las células de la granulosa; además, se ha observado en diversos estudios una correlación existente entre concentraciones bajas de selenio y α -tocoferol y una mayor incidencia de retenciones placentarias.^{15,19,21,22,23,24,25,26}

Por otro lado, las células fagocitarias son particularmente sensibles al daño oxidativo y aquí el selenio juega un rol antioxidante muy importante durante la respuesta inmune, al reforzar la habilidad fagocítica para matar microorganismos patógenos al producirse gran cantidad de especies reactivas de oxígeno. en el conocido "estallido respiratorio", generando superóxido, que se transforma espontáneamente en H_2O_2 y O_2 necesarios para su función antimicrobiana.^{27,28,29,30,31} También los linfocitos, por su importancia en la fijación de antígenos, parecen ser especialmente susceptibles al daño peroxidativo, por estar constituida su membrana por

un alto contenido de ácidos grasos libres, afectando el desarrollo de la inmunidad mediada por estas células.³²

La consecuencia más importante de la reducción de actividad inmune, la conforma el aumento en la incidencia de patologías mamarias, ya que las células de la glándula mamaria están sometidas a una intensa actividad metabólica, debido a la influencia de la GSH-Px, sobre la actividad de los leucocitos polimorfonucleares. Cuando ocurre un fallo en los mecanismos defensivos y penetran en la ubre numerosos microorganismos, se produce un aumento de endotoxinas y factores mediadores de la inflamación, los cuales son responsables de un aumento de la reacción inflamatoria local y daño tisular. Ante un estado de deficiencia de selenio, la concentración de hidroperóxidos aumenta y origina una activación de la ciclooxigenasa y lipooxigenasa, enzimas que requieren hidroperóxidos de ácidos grasos para el mantenimiento de su máxima actividad, generando una reacción inflamatoria que en la ubre de animales deficientes en selenio es más evidente. Se ha observado que al suplementar con vitamina E y selenio, hay menores tasas de infección a diferentes niveles. Diversos estudios indican que cuando el contenido de selenio es adecuado, hay una menor incidencia de mastitis clínica, la inflamación de la glándula mamaria es menor o de corta duración, así como una menor incidencia de mastitis subclínica.^{32,33,34,35}

También, el selenio forma parte de las desyodinasas tipo I, II y III que se hayan involucradas en la conversión de tiroxina a su forma activa: 3,5,3 triyodotironina. La yodotironina desyodinasa tipo I se localiza en hígado y riñón y es la desyodinasa más abundante en rumiantes, la yodotironina desyodinasa tipo II, se localiza en cerebro y tejido adiposo marrón y es más abundante en animales no rumiantes; mientras que, la yodotironina desyodinasa tipo III se haya principalmente en placenta.^{2,4} Así, en condiciones de deficiencia de selenio, se da la estimulación de la hormona plasmática tiroidea (TSH), incrementando los valores de tiroxina y disminuyendo la concentración de triyodotironina plasmática. T₃ encargada del control del ritmo oxidativo y síntesis proteica, participa en el metabolismo intermediario y establece el ritmo metabólico basal influyendo sobre las necesidades de nutrientes, de ahí que, una disminución en el crecimiento del animal este asociada con la deficiencia de selenio.^{4,36}

No obstante, los efectos protectores del selenio-GSH-Px frente a daños oxidativos también se ponen de manifiesto en animales sometidos a situaciones estresantes, que están estrechamente relacionados con la adaptación del animal al ejercicio, ya que durante el mismo se incrementan las peroxidaciones tisulares.²

Entre las condiciones patológicas asociadas con la deficiencia de selenio en otras especies se encuentran: la diátesis exudativa y fibrosis pancreática en aves, la hepatosis dietética y la enfermedad de corazón de mora en cerdos y la enfermedad del músculo blanco en caballos.^{2,4,5}

1.3. METABOLISMO DEL SELENIO DENTRO DEL ORGANISMO ANIMAL.

La absorción del selenio a partir del tracto digestivo depende de la forma química en que sea administrado. Existen diferencias notables en el metabolismo postabsorción entre las fuentes de selenio orgánico e inorgánico. La absorción de selenio inorgánico es marcadamente más baja en rumiantes que en monogástricos, esta diferencia es dada por el rumen, que provee un medio reductor que puede convertir el selenio consumido a su forma reducida, constituyendo un estado indisponible, de no ocurrir así, los microorganismos ruminales pueden unir el selenio a proteínas bacterianas. El selenito y selenato inorgánico de la dieta o administrado por vía parenteral reaccionan rápidamente por un enlace débil con la cistina y otros compuestos de azufre en el cuerpo del animal, de forma tal, que el selenio inorgánico, es retenido únicamente hasta el punto en el cual los sitios aceptores de selenio en las proteínas de la sangre y otros tejidos se saturan. Sin embargo, en la forma de selenometionina se incorpora en forma directa en varias proteínas sanguíneas y tisulares. Una

vez absorbido, el plasma se encarga de transportarlo en asociación con una proteína plasmática y penetra a los tejidos donde es almacenado principalmente como selenometionina y selenocistina, incorporándose a las γ -globulinas, los eritrocitos, leucocitos, mioglobina, nucleoproteínas, miosina y varias enzimas, entre ellas, la GSH-Px.^{2,3,5} En cuanto a la excreción del selenio, la pérdida tisular de éste se efectúa a través de pulmones como dimetil selenido, por heces y orina.^{2,37} La cantidad excretada por cada vía depende de la ruta de administración, concentraciones tisulares y especie animal. La ruta de excreción para el selenio consumido en rumiantes en mayor proporción es por heces. El selenio administrado vía parenteral se acumula principalmente en el hígado y es significativamente excretado en orina.²

1.4. EL SELENIO EN LA RELACION SUELO-PLANTA.

1.4.1. EL SELENIO EN EL SUELO.

El contenido de selenio en las rocas varía en las diferentes formaciones geológicas. La forma de selenio en los suelos depende de factores físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se encuentran las formaciones de afloramiento de rocas, descomposición, lixiviación, escurrimiento de yacimientos minerales naturales y formaciones que se encuentran debajo de mantos freáticos.^{5,38}

El selenio está presente en el suelo en diferentes formas químicas, como: selenido (Se^{-2}), selenio elemental (Se^0), selenito (Se^4), selenato (Se^6) y selenio orgánico (selenometionina y selenocisteína). El selenio oxidado (selenito o selenato), es la forma biológicamente activa, mientras que el selenio elemental reducido es pobremente absorbido.^{2,5,39}

Este mineral se puede unir a otros elementos de la superficie de los minerales, a través de uniones con alto grado de covalencia, formando compuestos o complejos de superficie. Es adsorbido por el suelo en forma de aniones uniéndose principalmente al aluminio y hierro. Altos niveles de selenio en el suelo indican que el selenio está en una forma soluble en agua o disponible. La concentración total de selenio está correlacionada pobremente con el contenido de selenio en plantas, porque sólo el selenio hidrosoluble en suelos es realmente utilizable por las plantas. Además, la disponibilidad del selenio del suelo depende de la forma química en que éste se encuentre.^{2,5,39,40,41}

El suelo, es la fuente de todos los elementos minerales encontrados en las plantas. Y, debido a que los animales obtienen una gran proporción de sus nutrientes a partir de los alimentos que consumen, los factores que afectan el contenido mineral de las partes vegetativas de las plantas, son factores que determinan el consumo mineral de los animales.¹⁵

1.4.2. EL SELENIO EN LAS PLANTAS.

La forma dominante del selenio en los forrajes es la selenometionina y en menor cantidad, la selenocisteína y selenito.⁴²

La concentración de selenio en los forrajes depende de factores interdependientes: características del suelo, como el contenido de materia orgánica, pH y drenaje; tipo de forraje, estado de madurez de la planta, condiciones climáticas y estacionales y manejo del suelo y del forraje.^{2,4,42}

En diferentes estudios se ha relacionado un pH alcalino del suelo con una mayor disponibilidad del selenio. En suelos alcalinos, el selenio tiende a formar selenatos que son fácilmente utilizados por las plantas; por el contrario, en pH ácido, los suelos ferrosos junto con los minerales de la arcilla del suelo, forman los complejos insolubles, que son pobremente utilizables por las plantas.^{25,40,42}

Un suelo rico en materia orgánica propicia la unión del selenio a compuestos orgánicos, lo que hace más disponible el selenio presente en las plantas. Además, las sustancias orgánicas juegan un papel importante en el desgaste de rocas con la consecuente liberación de micronutrientes.^{39,40}

El selenio en la planta, es metabolizado por las hojas y almacenado en las raíces. La distribución de selenio en un orden decreciente es: raíces , tallos, hojas, flores y frutas. Esta distribución varía dependiendo de la especie, fase de crecimiento y estado fisiológico de las plantas.⁴²

Con respecto a la madurez del forraje, el contenido de selenio de los pastos es más elevado en plantas jóvenes y declina rápidamente en las etapas posteriores de la madurez, debido posiblemente a una dilución de los nutrimentos en la planta o a una disminución en la capacidad de la planta para absorber esos nutrientes a partir del suelo. Sin embargo, es sabido que no ocurre lo mismo con las leguminosas forrajeras que muestran una menor variación en su valor nutritivo durante su desarrollo vegetativo.⁴²

Por otro lado, la presencia de elementos nutritivos en las cenizas de una planta, no es indicador de la cantidad necesaria de los distintos elementos minerales para la planta. El selenio no es considerado un elemento mineral esencial para las plantas porque su deficiencia no impide que la planta complete su ciclo vital, no participa en forma directa en el metabolismo de la planta y además puede ser reemplazado por otro elemento con propiedades similares; con excepción de las plantas seleníferas.^{5,42}

De ahí que, la presencia de un elemento en altas concentraciones en una planta, no es un indicador seguro de su esencialidad; ya que existen plantas como *Astragalus*, *Haplopappus*, *Xylorhiza*, *Stanleya* y *Lecythis*, *Machaeranthera*, *Atriplex*, *Aster* y *Grindelia*, que pueden crecer en suelos con altas concentraciones de selenio y acumular este elemento en su estructura, también conocidas como: "plantas acumuladoras de selenio",^{2,5,16} que se dividen en dos grupos:

- Especies de acumulación obligada, que son indicadoras de la presencia de selenio en el suelo, entre las cuales se encuentran los géneros *Astragalus* spp. ("hierbas locas") y *Oxytropis* spp. y *Stanleya* spp.
- Especies facultativas o de absorción facultativa, que pueden o no crecer en suelos seleníferos, donde se haya *Atriplex canescens* ("chamizo" o "costilla de vaca"), cuyo valor forrajero es bastante bueno. muy apetecible por el ganado y no siempre presenta niveles tóxicos de selenio.

Ambas actúan como plantas convertidoras, al acumular el selenio en concentraciones tóxicas aún por plantas no acumuladoras, tales como algunos pastos forrajeros.⁴²

Se ha observado, para la mayor parte de los minerales, que condiciones de un drenaje pobre del suelo, se ocasiona un aumento en la concentración mineral de los forrajes, mientras que las precipitaciones pluviales son factores que contribuyen a la deficiencia de selenio.^{14,39,42} Al respecto, diversos autores, difieren sobre si el contenido mineral de los forrajes es menor o mayor en la época de sequía o en la época lluviosa, donde ellos indican que una deficiencia mineral en la época lluviosa está menos relacionada con la concentración mineral del forraje.^{1,4,42,43,44}

En cuanto al manejo de las praderas, algunos autores reportan que los rumiantes en pastoreo pueden consumir en cantidades elevadas el suelo en forma indirecta, al contaminarse el forraje, condición favorecida por una estructura pobre del suelo, mal drenaje y alta capacidad de carga, lo que se traduce en un aporte adicional de minerales.¹⁴ Por otro lado, los rumiantes pueden contribuir a una pérdida del selenio, ya que la mayor parte del selenio excretado con las heces es inorgánico e insoluble en agua, de baja disponibilidad, de ahí que los forrajes que crecen en presencia de heces de los animales, contengan menores concentraciones de selenio.²

1.5. ANTECEDENTES DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE EL CONTENIDO DE SELENIO EN SUELOS, FORRAJES Y SANGRE DE BOVINOS.

Como antecedentes de los estudios realizados en la República Mexicana, sobre el contenido de selenio en suelos, forrajes y sangre de rumiantes, en un estudio realizado en el altiplano guanajuatense, William et al,³⁸ reportaron que los suelos en el área del río Guanajuato, contenían de 300 a 20 000 ng/g de selenio. Las plantas nativas e introducidas tuvieron altos niveles de selenio, entre ellos, la alfalfa con 3 000 a 30 000 ng/g y el trébol con 15 000 ng/g.

Flores,⁴⁵ reporta que la mayor parte del área de muestreo de la investigación realizada en el Municipio de Santa María del Río, S.L.P. es deficiente en selenio. Sólo 4 de 29 muestras de suelos, presentaron una lectura por arriba del nivel de detección del instrumento de medición, con un promedio de 150 ng/g.

Escobosa y col.,⁴⁵ en el noreste y centro de la República, reportan que los niveles de selenio son altos sin llegar a ser tóxicos, el contenido de selenio en las gramíneas estudiadas fue de 74 a 288 ng/g, inferiores a los de la alfalfa con 188 a 488 ng/g.

Guerrero et al,⁴⁶ describen en la zona de Cuajomulco y Tres Marías, Morelos, suelos deficientes en selenio, que les permite inferir que los forrajes que crecen en esa región también son deficientes. El selenio en el suelo de Cuajomulco y de Tres Marías, no fue detectable a más de 16 ng/g.

Rosiles et al,¹⁷ refieren la deficiencia existente de selenio en un hato de bovinos que sufren el síndrome de "mal de las alturas" en Ixtlahuaca, Edo.de México. El contenido de selenio del suelo fue de 63.8 ng/g y de la sangre fue de 43.5 ng/g.

Se ha notificado que las áreas deficientes en selenio se localizan básicamente en costas, donde hay erosión e inundaciones, considerando que las zonas seleníferas se localizan en el centro del país, en zonas mineras donde se extrae el oro, plata y cobre.¹⁷

Como antecedentes de estudios realizados en otras partes del mundo sobre las concentraciones de selenio en suelos, forrajes y sangre de bovinos, McDowell et al,¹ hace una revisión de los estudios realizados sobre el estatus mineral de forrajes de Latinoamérica e informa que más de la mitad de los forrajes analizados tenían una concentración de selenio menor a 100 ng/g, que está por debajo del nivel crítico de selenio necesario para rumiantes:

En un estudio realizado en Bolivia por McDowell et al (1982),¹ el 27% de 24 muestras de forraje se encontraban por debajo de los niveles críticos, con un promedio de 120 ng Se/g y en el mismo año, los mismos autores realizaron un estudio en Florida, donde el 87% de 29 muestras resultaron deficientes en selenio, con un promedio de 60 ng Se/g.

En 1983, Peducassé et al,¹ reportan dos estudios realizados en Bolivia, en uno de ellos el 47% de 84 muestras de forraje analizadas fueron deficientes en selenio y en el otro estudio, 39 de 59 muestras de forraje resultaron deficientes en selenio, con un promedio de 80 ng/g.

En 1984, Jerez et al,¹ en la República Dominicana, indican que el 48% de 69 muestras de forrajes analizadas fueron deficientes en selenio con un contenido promedio de 140 ng/g. El mismo año, Vargas et al,¹ en Colombia, encontraron que el 56% de 69 muestras analizadas fueron deficientes con una concentración media de 110 ng/g de selenio y en otra investigación, el 74% de 36 muestras se encontraban deficientes en selenio.

En diversos estudios realizados en Guatemala, los autores reconocen áreas deficientes en selenio en ese país. En 1987, Tejada et al,¹ en una investigación realizada, a partir de 84 muestras de forraje, reportaron que

el 49% eran deficientes y en otro estudio el mismo año, el 56% de 168 muestras analizadas resultaron deficientes, con un contenido promedio de 270 ng Se/g. El siguiente año, Knebusch et al,¹ reportaron que el 77% de 81 muestras se encontraban deficientes con 70 ng Se/g como promedio y Valdés et al,¹ informaron que el 29% de 72 muestras de forraje fueron deficientes con un promedio de 160 ng/g de selenio.

Balbuena et al,¹ en un estudio realizado en Argentina, a partir de 57 muestras de forraje, indican que contenían 70 ng/g de selenio en promedio, dentro de las cuales al 81% de ellas se encontraban por debajo de 100 ng/g.

En 1991, Pastrana et al,¹ describen que en una investigación realizada en Colombia, el 56% de 131 muestras analizadas resultaron deficientes, con un promedio de 100 ng Se/g.

En 1992, Vargas et al,¹ en Costa Rica, refieren que 258 de 409 muestras fueron deficientes con 120 ng/g de selenio en promedio.

En 1993, Rojas et al,¹ realizaron dos estudios en Venezuela, en uno de ellos, de 198 muestras de pastos analizadas, el 96% era deficiente en

selenio y en el otro, el 73% de 198 muestras de forraje fueron deficientes con un promedio de 80 ng Se/g.

En Nicaragua en 1996, Velásquez-Pereira et al,¹ reportaron que el 27% de 112 muestras analizadas se encontraban deficientes en selenio con una concentración promedio de 210 ng/g y en otro estudio realizado el siguiente año, reportan que el 18% de 304 muestras se encontraban deficientes en selenio.

En un estudio realizado por Lucci y Moxon,¹ en 1982, donde analizaron el nivel de selenio en el suero de 43 hatos lecheros en Sao Paulo en Brasil, refieren que sólo 5 hatos tenían una concentración promedio de 40 ng/g, encontrándose deficientes en selenio y de los estudios realizados se encontró que más de la mitad de los forrajes analizados tenían una concentración de selenio menor de 100 ng/g. En otro estudio, Lucci et al,¹ en 1983, en 12 regiones del estado de Sao Paulo en Brasil, notificaron sobre niveles de selenio menores de 40 ng/g en el 75% de las muestras de suero de 974 vacas lecheras.

En la investigación realizada por McDowell et al,³⁹ en 1987, en una región del estado de Guárico, Venezuela donde se había presentado el Síndrome Parapléjico Bovino (SPB), se determinó que todas las muestras analizadas

estaban deficientes en selenio y en 1993, en un estudio realizado sobre el estado mineral de suelos, pastos y ganado de carne en el sureste de Venezuela reporta que la deficiencia de selenio se haya asociada con el síndrome parapléjico bovino (SPB) ya que las concentraciones de selenio en suelos estuvieron por debajo del nivel crítico de 500 ng/g, mientras que la mayoría de los pastos eran deficientes al encontrarse considerablemente por abajo del requerimiento de 200 ng/g.

En Nicaragua en 1997, en un estudio realizado por Conrad et al,⁴⁴ informan que del total de muestras de forrajes analizadas, casi el 50% fueron deficientes en selenio durante la época de sequía, mientras que durante la época lluviosa este porcentaje incrementó. Durante la época seca, la concentración de selenio en suero sanguíneo fue más baja en los becerros que en las novillas, mientras que en época lluviosa, el porcentaje de muestras de suero sanguíneo deficientes en selenio fue variable, fluctuando entre 13 y 93%.

Wichtel,^{47,48} refiere que la deficiencia de selenio en Nueva Zelanda fue primero reportada en borregos por los años 1950's. Alrededor del 30% de los suelos son considerados como deficientes en selenio, entre ellos, los suelos en el valle del río Waikato y de la meseta volcánica central del norte de la isla son considerados como los más deficientes, mientras que la

región costera del norte y porción sur de la isla son consideradas como marginalmente deficiente. En cuanto al contenido de selenio en forrajes, Grace,⁴⁸ reporta un rango que va de 5 a 70 $\mu\text{g Se/kg MS}$.

VanRyssen,⁴⁹ reporta la información disponible con respecto a la distribución geográfica del estatus de selenio de herbívoros en pastoreo en Sudáfrica. Señala que las deficiencias de selenio han sido encontradas en las regiones centrales y áreas montañosas de la provincia de Kwazulu y en la región costera del sur de la provincia de Western Cape, áreas con una alta precipitación pluvial y suelos predominantemente ácidos.

En la parte central de la provincia de Kwazulu, MacFarlane y O'Hagan,⁴⁹ en 1992 y 1994 respectivamente, señalan que la suplementación con selenio resulta en una reducción en la incidencia de mastitis y alteraciones en la fertilidad de vacas lecheras. O'Hagan, en esa región encontró que el contenido de selenio sanguíneo en vacas en pastoreo va de 16 a 75 ng/g.

VanRyssen⁴⁹ en 1999, informó sobre bajas concentraciones sanguíneas de 90 ng Se/g, en borregos que pastorean en praderas de pasto kikuyo. Sin embargo, en 1990, Van Niekerk et al,⁴⁹ mencionan que las concentraciones de selenio sanguíneo de borregos, cabras y bovinos de la región costera oeste de la provincia de Western Cape se encuentran

dentro del rango adecuado. En cuanto a la provincia de Karoo y otras regiones de la provincia de Northern Cape, el contenido de selenio es variable y comprende concentraciones normales a altas.

Un estudio realizado por Van Niekerk,⁴⁹ señala que el contenido de selenio sanguíneo de borregos Dorper varía entre 240 a 580 ng/g. Mientras que el estatus de selenio de animales en pastoreo en la provincia de Mpumalanga, Gauteng y el Estado libre del Este varía de marginalmente deficiente a adecuado.

En un estudio realizado en Gauteng,⁴⁹ el contenido de selenio sanguíneo de bovinos fue de 49 ± 12 ng/g, que indica una deficiencia marginal. En otro estudio realizado en el estado Libre del Este en 1983, Erasmus y Faanhof,⁴⁹ señalaron que el contenido promedio de selenio sanguíneo de borregos fue de 65 ng/g, contenido que varía entre 10 y 253 ng/g. En otro estudio realizado en el estado Libre del Sur en 1984, Erasmus y Faanhof,⁴⁹ encontraron que el contenido promedio de selenio sanguíneo de borregos fue de 360 ng/g, considerado como alto.

1.6. REQUERIMIENTOS DE SELENIO EN LOS BOVINOS.

Es difícil establecer los requerimientos específicos de minerales en los animales ya que dependen de su forma química y de las interacciones

que existen entre ellos. Los requerimientos mínimos son altamente dependientes del nivel de productividad y la adaptación animal.^{3,7} Normalmente, el ganado introducido en un área muestra signos de deficiencia, mientras que las razas nativas de crecimiento lento y madurez tardía no exhiben estas deficiencias al mismo grado.^{50,51}

En cuanto a valores de referencia, según el Consejo Nacional de Investigación de los E. U. A. o National Research Council, por sus siglas en inglés N.R.C., el contenido de selenio en el alimento para bovinos debe contener entre 100 y 300 ng Se/g MS, mientras que un valor máximo de selenio es de 5 ppm, ya considerado como tóxico.^{50,51} El nivel dietético del mineral que sólo promueve una respuesta óptima es el requerimiento mínimo, permitiendo que el animal logre por completo su potencial genético para un funcionamiento óptimo.

En el suelo, 500 ng/g de selenio representa la cantidad adecuada para satisfacer las necesidades de los animales.^{37,42}

En el forraje, valores menores a 90 ng/g de selenio se consideran como deficientes. Mientras que, el criterio diagnóstico sugiere que en forrajes y granos, la concentración de selenio adecuada es de 100 ng/g,

de 75 a 100 ng/g es moderadamente deficiente, de 50 a 75 ng/g es bajo el contenido de selenio y menor a 50 ng/g es francamente deficiente.⁴²

Según Georgievsky,³ la concentración normal de selenio en sangre de bovinos es de 50-180 ng/l; sin embargo, Underwood,² sugiere que la concentración normal de selenio en sangre de bovinos es de 100 ng/g. Mc Dowell,⁴ considera que la concentración de selenio adecuada es de 100 ng/g. Puls,⁵² indica que el contenido adecuado de selenio sanguíneo es ≥ 100 ng/g, de 75 a 100 ng/g es moderadamente deficiente o marginal, de 50 a 75 ng/g es bajo el contenido de selenio y menor a 50 ng/g es deficiente.

1.7. INTERACCIÓN DEL SELENIO CON OTROS ELEMENTOS.

Las formas de interacción mineral pueden ser: sinérgica o antagónica. El selenio presenta principalmente antagonismo con el cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), azufre (S), cadmio (Cd), arsénico (As) y el mercurio (Hg); y sinergismo con vitamina E.^{2,3,4,5}

La interacción del selenio con la vitamina E, Cu, Zn y Mn se debe a que todos ellos comparten el mismo rol como antioxidantes biológicos. El Cu, Zn, Mn y Se, forman parte de la superóxido Cu-Zn dismutasa (CuZnSOD), de la superóxido Mn dismutasa (MnSOD) y de la glutatión

peroxidasa (GSH-Px) respectivamente, donde actúan en forma interdependiente en el control de la lipoperoxidación.^{2,3,4}

El selenio interviene en el reparto de la vitamina E tisular, ya que se ha observado que una disminución de vitamina E en plasma ocasionada por un incremento del selenio en la dieta, va acompañada de una mayor deposición tisular (p.ej., músculo esquelético y riñón) de vitamina E, lo que sugiere su intervención en el transporte del tocoferol desde la sangre hacia el resto del organismo. De ahí, que el selenio y vitamina E ejerzan un efecto de ahorro sobre el otro, modificando con ello los requerimientos de ambos.^{2,4,5}

El hierro interactúa con el selenio y cobre al participar en el transporte de oxígeno con lo que promueve la generación de radicales libres de oxígeno. Además, el cobre forma parte de la ceruloplasmina, encargada de la captura y transporte del hierro libre y radicales libres de oxígeno. De ahí que, en presencia de altas concentraciones de hierro se dé una disminución de la absorción del cobre y viceversa. Además, puede haber una reducción del selenio cuando hay una deficiencia de cobre, a pesar de un alto contenido de hierro.^{2,4}

Por otro lado, el selenio y el zinc intervienen en la captación de metales pesados como el arsénico, mercurio, cadmio y cobre; sin embargo, existen reportes de que en regiones seleníferas, se inhibe la absorción del zinc.^{2,4}

Con respecto al azufre, se ha observado que un consumo alto de este mineral en la dieta o bien a través de prácticas de fertilización del suelo y forraje, se reduce la disponibilidad del selenio al darse una competencia entre ambos elementos por sitios de absorción.^{2,4}

2. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de realizar el presente estudio, surgió como respuesta al hecho de que en nuestro país no existen registros de un esfuerzo continuo con el propósito de establecer un mapeo del contenido de los minerales en las diferentes regiones de la República Mexicana, con la finalidad de contar con un marco de referencia y así establecer las medidas pertinentes para corregir y/o prevenir en su caso las deficiencias existentes, las cuales se reflejarán en la planta y por lo tanto, en el animal, tomando en cuenta el hecho de que las deficiencias y toxicidades minerales en los animales en pastoreo pueden ser predichas por medio del uso de una técnica de estudio sistemático de mapeo o por el reconocimiento regional. La meta es satisfacer las necesidades minerales del ganado en pastoreo para maximizar la producción animal.^{53,54,55,56}

3. HIPÓTESIS

Existe deficiencia en el contenido de selenio en suelo, forraje y sangre de bovinos de León, Guanajuato y Catemaco, Veracruz.

4. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

- Analizar comparativamente las concentraciones de selenio en suelo, forraje y sangre de bovinos en pastoreo del altiplano mexicano (León, Guanajuato) y trópico húmedo mexicano (Catemaco, Veracruz).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar las concentraciones de selenio en suelo, forraje y sangre de bovinos Aberdeen Angus procedentes de León, Guanajuato y bovinos F1 (Pardo Suizo X Cebú) procedentes de Catemaco, Veracruz bajo condiciones de pastoreo.
- Determinar el pH y materia orgánica de los suelos muestreados procedentes de León, Guanajuato y de Catemaco, Veracruz.
- Identificar el contenido de selenio en los suelos del presente estudio, con la finalidad de realizar un mapeo.
- Identificar la intensidad de la deficiencia de selenio en suelo, forraje y sangre de bovinos Aberdeen Angus procedentes de León, Guanajuato y bovinos F1 (Pardo Suizo X Cebú) procedentes de Catemaco, Veracruz.
- Establecer la relación existente entre el pH, materia orgánica y concentración de selenio en el suelo y la concentración de selenio en el forraje.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ZONAS DE MUESTREO

El muestreo del suelo, forraje y sangre de bovinos se realizó en dos unidades de producción "Xococapan" y "Pozo Redondo" localizados en el trópico húmedo y altiplano mexicano respectivamente.

El rancho "Xococapan" se encuentra en el municipio de Catemaco, Veracruz; localizado geográficamente en el paralelo 18°25' latitud norte y el meridiano 95°06' longitud oeste, a una altitud de 340 msnm. La temperatura promedio anual es de 24.3°C y una precipitación pluvial de 2016.9 mm. El tipo de clima es Am(e)gw', según la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García. Es un clima cálido húmedo con temperatura media del mes más frío >18°C de tipo extremoso (con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 7 y 14°C), con presentación del mes más caliente antes del solsticio de verano, con sequía de medio verano o intraestival, que comprende a un período menos lluvioso que se presenta en la mitad caliente del año.⁵⁷ (Figura 1)

El rancho "Pozo Redondo" se encuentra ubicado en el municipio de León, Guanajuato; cuyas coordenadas geográficas son 21°07' latitud norte y 101°41' longitud oeste a una altitud de 1809 msnm. La temperatura

promedio anual es de 19.2°C y una precipitación pluvial anual promedio de 625 mm. El tipo de clima es BSlhw(w)(e)g, según la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García. Es un clima semicálido con invierno fresco, temperatura media anual entre 18 y 22°C y la del mes más frío menor de 18°C, con un régimen de lluvias de verano, 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente (abril-septiembre) con respecto al más seco, extremo, con una oscilación entre 7 y 14°C, presentándose el mes más caliente del año antes del solsticio de verano.⁵⁷ (Figura 2)

5.2. ESPECIFICACIONES SOBRE EL MUESTREO DE SUELO Y FORRAJE:

Se realizó un croquis del predio donde se hizo el muestreo, separando sectores heterogéneos en base a su uso y topografía del terreno. Las muestras de suelo fueron tomadas siguiendo un recorrido en forma de zigzag en toda el área, con la finalidad de que este fuera completamente en forma aleatoria. Se realizó un hoyo en "V" en el punto a muestrear con una pala a una profundidad de 15-20 cm. Se obtuvieron 10 muestras simples de diferentes puntos, se mezclaron homogéneamente resultando una muestra compuesta a partir de la cual se tomaron aproximadamente 250-500 g que fueron enviados al laboratorio para su análisis, empaquetada en una bolsa de plástico identificada con un número, mismo que fue registrado en una hoja control indicando: lugar de

procedencia (estado, municipio, localidad), lugar donde se realizó el muestreo (nombre del predio o rancho), dentro del mismo predio se especificó la ubicación del punto a partir del cual se obtuvo la muestra compuesta, el número del potrero y se realizó alguna observación de algún punto que fue tomada como referencia (lagos, lagunas, cauces de ríos, caminos, etc.)⁵⁸

Para el muestreo de gramíneas, se procedió a muestrear las hojas superiores y para el muestreo de leguminosas, se procedió a muestrear en el tercio superior de la planta, ambas a partir de 30-40 plantas al inicio de la floración. Estas fueron enviadas al laboratorio empaquetadas en bolsas de plástico identificadas con un número, mismo que fue registrado en una hoja control indicando los mismos datos de identificación que para las muestras de suelo anteriormente descrito.⁵⁸

El muestreo de suelo y forraje en el rancho "Pozo Redondo", se realizó en 6 praderas de 3 Ha c/u y una fracción de la sierra montañosa de Santa Rosa, Guanajuato compuesta principalmente por grama nativa de aproximadamente 3 Ha. Los forrajes muestreados fueron: *Pennisetum clandestinum* (zacate Kikuyo), *Bouteloua gracilis* (zacate Navajita), *Bromus inermis* (zacate Avenilla), *Lycurus phleoides* (zacate Lobero) y *Muhlenbergia crispiseta* (zacate Liendrillo).^{59,60,61}

Mientras que para el rancho "Xococapan", se realizó el muestreo en 5 praderas introducidas: 4 praderas destinadas para pastoreo de 3 Ha c/u y una pradera de forraje de corte de 1 Ha. Los forrajes muestreados fueron: *Cynodon plectostachyus* (zacate Estrella Africana), *Cynodon dactylon* (grama nativa), *Brachiaria brizantha* (zacate Insurgente), *Desmodium triflorum* (Desmodium) y *Mimosa pudica* (Sensitiva).^{59,60,61,62}

5.3. ESPECIFICACIONES SOBRE EL MUESTREO SANGUÍNEO DE LOS ANIMALES:

Se realizó un muestreo sanguíneo en forma aleatoria, de 30 bovinos clínicamente sanos F1 (Pardo Suizo X Cebú) procedentes del rancho "Xococapan" ubicado en Catemaco, Veracruz y 81 bovinos clínicamente sanos Aberdeen Angus procedentes del rancho "Pozo Redondo" ubicado en León, Guanajuato. Los grupos de vacas muestreados en ambos ranchos pertenecen al lote reproductivo. La muestra de sangre se tomó a partir de la vena coccígea en tubos vacutainer® estériles sin anticoagulante; mismas que fueron enviadas al laboratorio con su identificación correspondiente y en refrigeración.

El muestreo de suelos, forrajes y sanguíneo se realizó en la época de invierno. Se analizó el contenido de selenio sanguíneo de los animales , ya

que los niveles minerales en sangre constituyen un importante indicador del estado mineral.

5.4. ESPECIFICACIONES SOBRE EL PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO:

El procesamiento de las muestras se realizó en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. Los forrajes se identificaron según el género y especie ^{8,59,61,62} y las muestras de suelo se dividieron en tres fracciones iguales:

A una de las fracciones de cada suelo húmedo, se le midió el pH, para poder clasificarlo como alcalino, neutro o ácido y se procedió a caracterizarlo de acuerdo a su textura y color.^{58,63,64}

5.5. METODOLOGÍA PARA LA MEDICION DE pH A PARTIR DEL SUELO:

Se colocó la muestra de suelo en un vaso de precipitado adicionando agua desmineralizada en una proporción suelo:agua de 1:2.5. Se agitó la mezcla anterior y se dejó ésta en equilibrio por 30 minutos para obtener así la solución del suelo a partir de la cual se procedió a medir el pH utilizando un potenciómetro con electrodo de membrana de vidrio, tomando la

lectura hasta que ésta permaneciera estable por lo menos durante 10 segundos.^{58,63,64}

Otra porción de suelo, se puso a desecar en una estufa de secado a 55°C, una vez seca la muestra se procedió a realizar el tamizado de la misma para separar partículas > 2 mm; y a partir de esta fracción, se determinaron materia orgánica y selenio.

5.6. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN FR MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS:

Se pesó en una balanza analítica 1 g de cada muestra de suelo, esta se colocó en un crisol de porcelana previamente desecado y pesado, después se introdujo en una mufla calibrada a 550°C durante 24 horas para incinerar la materia orgánica, después se colocó el crisol que contenía la muestra de suelo incinerada en una campana de secado por 10 minutos, se pesó el crisol y por diferencia se obtuvo el peso del residuo que comprende las cenizas o fracción inorgánica del suelo, después de la ignición, mientras que la cantidad de muestra perdida durante la incineración corresponde a la materia orgánica del suelo.^{63,64}

5.7. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SELENIO:

Para el suelo, éste fue sometido a extracción con una solución de ácido nítrico (HNO_3) al 20%. Para la determinación de la concentración de selenio en plantas y sangre animal, las muestras fueron sometidas a digestión con HNO_3 en horno de microondas.⁶⁵ La lectura de la concentración de selenio se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica acoplado con generación de hidruros, de acuerdo a las condiciones de operación indicadas en el manual de operaciones del fabricante.¹² Se procedieron a realizar las lecturas de las absorbancias de estándares de selenio y de cada muestra. Por medio de una regresión lineal con las concentraciones y absorbancias de los estándares de selenio, se realizó una estimación de las concentraciones de cada una de las muestras con la absorbancia, dilución, alícuota y peso de la muestra.

5.8. DETERMINACIÓN DE OTROS ELEMENTOS MINERALES:

Además de determinar el contenido de selenio, se determinó la concentración de cobre, hierro y zinc, para los suelos, forrajes y sangre completa de bovinos, con excepción del cobre sanguíneo, con la finalidad de poder reportar los resultados obtenidos y poder relacionar estos con una posible interacción mineral. La lectura de la concentración de estos minerales se llevó a cabo mediante espectrofotometría de

absorción atómica, de acuerdo a las condiciones de operación indicadas en el manual de operaciones del fabricante.¹²

Para la medición del cobre en sangre, se empleó un método de adición, debido a que el contenido de cobre sanguíneo estaba por debajo del límite de detección del instrumento de medición. Para descartar la lectura de fondo del instrumento de medición, se elaboró un blanco y se agregaron 30 μ l de un estándar de 100 ppm de cobre a 3 ml de sangre, es decir, se adicionó 1 ppm de cobre a c/muestra previamente procesada y leída.¹²

5.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Una vez obtenidas las concentraciones de selenio del suelo, forraje y sangre animal, los datos se sometieron a su análisis descriptivo, estadístico e inferencial.

Se realizó el análisis descriptivo del contenido de selenio de los suelos y los forrajes de ambas zonas de muestreo, por medio del cálculo del promedio y error estándar del contenido de selenio del suelo y forraje.

Se evaluó el grado de asociación entre la concentración de selenio y el contenido de materia orgánica y pH del suelo por medio de una correlación lineal simple.

Se construyeron intervalos de confianza y mediante la prueba de "t" de Student, se comparó el contenido de selenio de cada grupo de animales muestreados con el contenido de selenio mínimo adecuado referido en la literatura; además, se compararon los promedios del contenido de selenio sanguíneo de los bovinos procedentes de Catemaco, Veracruz con los de León, Guanajuato para poder establecer una diferencia estadística para una distribución de "t" de Student.

Se realizó un análisis de correlación lineal simple entre las concentraciones de los minerales sanguíneos con el objeto de poder determinar la intensidad de asociación que pudiera existir entre ellos.

6. RESULTADOS

6.1. CONTENIDO DE SELENIO, pH Y MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

El contenido promedio de selenio de los suelos de León, Guanajuato fue de 41.1 ± 4.7 ng/g y para Catemaco, Veracruz fue de 60.4 ± 8.3 ng/g. Sin embargo, ambos se encontraron deficientes (< 500 ng/g).^{37,42} (Cuadro 1 y Figura 3)

El pH promedio de los suelos de León, Guanajuato fue de 6.1 ± 0.1 y para Catemaco, Veracruz de 4.4 ± 0.6 ; es decir, los suelos de ambas regiones presentaban un rango de pH que iba de débilmente ácido a un pH muy fuertemente ácido. (Cuadro 1)

El contenido promedio de materia orgánica de los suelos procedentes de Catemaco, Veracruz fue de $25.7 \pm 1.0\%$ MO; mientras que para León, Guanajuato fue de $7.7 \pm 0.9\%$ MO. (Cuadro 1)

Con respecto a los suelos de León, Guanajuato, el coeficiente de correlación entre el pH y contenido de selenio fue de 0.26 y entre contenido de materia orgánica y selenio fue de 0.43. Mientras que, los suelos de Catemaco, Veracruz, presentaron un coeficiente de correlación entre el pH y contenido de selenio de -0.85 y entre el contenido de materia orgánica y selenio de 0.82

6.2. CONTENIDO DE SELENIO EN FORRAJES.

El contenido promedio de selenio de los forrajes procedentes de Catemaco, Veracruz fue mayor en comparación con el de los forrajes procedentes de León, Guanajuato. El contenido de las leguminosas muestreadas en Catemaco, Veracruz fue de 155.7 ± 53.4 ng/g y de las gramíneas de 198.4 ± 37.2 ng/g. La concentración de selenio de *Desmodium triflorum* fue de 163.1 ± 65.6 ng/g y de *Mimosa pudica* fue de 126.0 ± 79.6 ng/g. La concentración de selenio de *Cynodon plectostachyus* fue de 218.0 ± 55.6 ng/g, de *Cynodon dactylon* de 120.9 ± 54.6 ng/g y de *Brachiaria brizantha* de 236.6 ± 11.7 ng/g. Con respecto a las gramíneas muestreadas en León, Guanajuato sólo una muestra de *Pennisetum clandestinum* resultó superior al límite de detección con 117.6 ng/g Se. Es decir, sólo los forrajes de León, Guanajuato se encontraron deficientes en selenio (<100 ng/g).^{42,50,51} (Cuadros 2,3,4,5 y Figuras 4,5)

6.3. CONTENIDO DE SELENIO SANGUÍNEO.

El contenido de selenio sanguíneo de los bovinos de Catemaco, Veracruz fue de 32.2 ± 2.1 ng/g y de los bovinos de León, Guanajuato fue de 45.2 ± 2.5 ng/g; es decir, ambas poblaciones se encontraron por abajo de la concentración mínima adecuada (100 ng/g).^{2,3,4,66} (Cuadro 6 y Figura 6)

El contenido de selenio sanguíneo promedio de los bovinos procedentes de León, Guanajuato fue mayor ($P < 0.0001$) que el de los bovinos procedentes de Catemaco, Veracruz.

Para Catemaco, el 7% de los animales se encontraron con valores sanguíneos de selenio en un rango de 50 a 75 ng/g, en un nivel moderadamente deficiente y el 93% se encontró por abajo de 50 ng/g, en un nivel francamente deficiente. (Cuadro 7 y Figura 7)

Para León, el 1% de los animales se encontraron con valores sanguíneos $>$ a 100 ng/g, el 6% en el intervalo de 75 a 100 ng/g que corresponde a un nivel marginal, el 23% en un rango de 50 a 75 ng/g y el 70% con valores $<$ 50 ng/g. (Cuadro 7 y Figura 8)

6.4. DETERMINACIÓN DE OTROS MINERALES.

Con respecto a los suelos, forrajes y sangre de bovinos de León Guanajuato, los resultados fueron los siguientes:

Suelo: El contenido de cobre fue de 3.5 ± 0.5 $\mu\text{g/g}$, hierro de 3049.7 ± 1629.1 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 16.6 ± 2.7 $\mu\text{g/g}$. (Cuadro 1)

Forraje: El contenido promedio de cobre en las gramíneas muestreadas fue de 18.4 ± 1.1 $\mu\text{g/g}$, hierro de 1150.2 ± 424.9 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 7.7 ± 3.0 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Pennisetum clandestinum* fue de 15.8 ± 1.5 $\mu\text{g/g}$, hierro de 366.0 ± 258.0 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 9.8 ± 0.9 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Bouteloua gracilis* fue de 19.8 ± 0.7 $\mu\text{g/g}$, hierro de 781.1 ± 21.0 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 6.3 ± 4.8 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Bromus inermis* fue de 13.4 $\mu\text{g/g}$, hierro de 7294.5 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 13.5 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Lycurus phleoides* fue de 11.1 $\mu\text{g/g}$, hierro de 2082.8 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 4.3 $\mu\text{g/g}$. El contenido de cobre en *Muhlenbergia crispiseta* fue de 25.2 $\mu\text{g/g}$, hierro de 116.8 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 13.1 $\mu\text{g/g}$. (Cuadros 2,3,4 y 5)

Sangre: El contenido promedio de hierro sanguíneo fue de 383.1 ± 5.2 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 1.8 ± 0.1 $\mu\text{g/g}$. (Cuadro 6)

Con respecto a los suelos, forrajes y sangre de bovinos de Catemaco, Veracruz, los resultados fueron los siguientes:

Suelo: El contenido de cobre fue de 17.6 ± 1.3 $\mu\text{g/g}$, hierro de 5035.9 ± 208.5 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 12.5 ± 1.8 $\mu\text{g/g}$. (Cuadro 1)

Forraje: El contenido promedio de cobre en las gramíneas muestreadas fue de 15.1 ± 1.1 $\mu\text{g/g}$, hierro de 1285.3 ± 353.9 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 39.8 ± 3.6 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en las leguminosas muestreadas fue de 25.5 ± 2.9 $\mu\text{g/g}$, hierro de 2635.5 ± 1108.4 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 39.4 ± 4.5 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Cynodon plectostachyus* fue de 16.7 ± 1.4 $\mu\text{g/g}$, hierro de 1272.0 ± 239.9 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 42.5 ± 3.5 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Cynodon dactylon* fue de 14.1 ± 1.2 $\mu\text{g/g}$, hierro de 2044.5 ± 1030.6 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 44.2 ± 10.2 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Brachiaria brizantha* fue de 10.3 ± 0.1 $\mu\text{g/g}$, hierro de 199.6 ± 95.9 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 22.2 ± 0.7 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Desmodium triflorum* fue de 25.5 ± 2.9 $\mu\text{g/g}$, hierro de 2635 ± 1108.4 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 39.4 ± 4.5 $\mu\text{g/g}$. El contenido promedio de cobre en *Mimosa pudica* fue de 15.9 ± 4.8 $\mu\text{g/g}$, hierro de 1688.6 ± 933.1 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 41.4 ± 7.9 $\mu\text{g/g}$. (Cuadros 2,3,4 y 5)

Sangre: El contenido promedio de hierro sanguíneo fue de 434.5 ± 18.5 $\mu\text{g/g}$ y zinc de 3.8 ± 0.2 $\mu\text{g/g}$. (Cuadro 6)

El coeficiente de correlación entre hierro y zinc sanguíneos resultó con asociación positiva de 0.46 significativa ($P < 0.0001$); entre selenio y hierro hubo una asociación negativa de -0.07 y entre selenio y zinc una asociación negativa de -0.13 , ambas no significativas ($P > 0.05$). (Cuadro 8)

Para Catemaco, Veracruz, el coeficiente de correlación entre hierro y zinc sanguíneos resultó con una asociación positiva de 0.40 significativa ($P < 0.05$); entre selenio y hierro hubo una asociación positiva de 0.27 y entre selenio y zinc una asociación positiva de 0.13, ambas no significativas ($P > 0.05$). (Cuadro 9)

Para León, Guanajuato, el coeficiente de correlación entre hierro y zinc sanguíneos fue de 0.20, entre selenio y hierro de -0.08 y entre selenio y zinc de 0.15; sin embargo, no fueron significativas ($P > 0.05$). (Cuadro 10)

7. DISCUSIÓN

La finalidad de este estudio fue conocer el contenido de selenio de los suelos, forrajes y sangre de bovinos procedentes de dos regiones de la República Mexicana, el Altiplano Guanajuatense y el Sureste Veracruzano.

MINERALES SANGUÍNEOS.

Al comparar la concentración de selenio sanguíneo de los animales del trópico húmedo con los del altiplano mexicano, aún cuando los animales de ambos lugares resultaron deficientes en selenio, se encontró una diferencia estadística significativa ($P < 0.0001$) entre los promedios del contenido de selenio sanguíneo de los bovinos de León, Guanajuato y de Catemaco, Veracruz. De esto, se desprende que son más deficientes los animales procedentes del Sureste Veracruzano. Se procedió a caracterizar a los animales según el grado o intensidad de deficiencia de selenio sanguíneo. Sólo 1 de los 81 animales muestreados procedentes de León, Guanajuato, presentó una concentración adecuada (≥ 100 ng/g), de acuerdo a McDowell,⁴ Underwood,² Georgievskii,³ Thompson⁶⁶ y Puls⁵²; 7 animales se encontraron en un rango marginal (75-100 ng/g), 24 animales moderadamente deficientes (50-75 ng/g) y 49 animales francamente deficientes (< 50 ng/g). En comparación, en su totalidad los animales procedentes de Catemaco, Veracruz resultaron deficientes en selenio; de los cuales, 2 de los 30 animales muestreados se encontraron

moderadamente deficientes (50-75 ng/g) y el resto de los animales se encontraron francamente deficientes (<50 ng/g), de acuerdo a la clasificación establecida por Puls.⁵²

Los resultados obtenidos en esta investigación, concuerdan con lo referido por los siguientes autores: Rosiles et al¹⁷, en un hato de bovinos deficiente en selenio, en Ixtlahuaca, Estado de México, cuyo contenido promedio de selenio sanguíneo fue de 43.5 ng/g.

Otaiza et al,⁶⁷ difieren con los resultados de este estudio; reportan concentraciones adecuadas de selenio sanguíneo de bovinos en la zona central de Venezuela, que comprende los estados de Falcón, Lara y Yaracuy, un rango que va de 290 ± 160 ng/g a 330 ± 220 ng/g y una zona selenífera en la parte centro-occidental de Venezuela que abarca el estado Portuguesa con un contenido promedio de selenio sanguíneo de 670 ± 650 ng/g. Di Michele et al,⁶⁷ reportaron que el contenido de selenio sanguíneo de bovinos en Venezuela, en el estado de Carabobo, los bovinos presentaban 840 ± 210 ng/g, mientras que los bovinos en el estado de Yaracuy, presentaban 210 ± 30 ng/g. Ellos mismos refieren que aún cuando no se analizó el contenido de selenio del alimento y forraje consumido por los animales de ambas regiones, afirman que los animales procedentes de Carabobo posiblemente presentaron un mayor aporte de

selenio derivado del consumo de concentrados preparados con torta de ajonjolí (ingrediente rico en selenio) cultivados principalmente en la Portuguesa considerada como un área selenífera, mientras que los animales de Yaracuy preferentemente son mantenidos en pastoreo con pastos nativos pobres en selenio.

La deficiencia de selenio sanguíneo en los bovinos procedentes de Catemaco, Veracruz sugirió que pudo deberse a que los animales al encontrarse bajo un sistema de pastoreo extensivo, condición que induce el sobrepastoreo de las praderas y que afecta la calidad de los forrajes;^{2,4,42} otra posible causa de deficiencia puede ser el alto contenido de hierro del suelo, por el antagonismo existente entre el hierro y el selenio volviendo a este último indisponible para poder ser absorbido por las plantas;^{2,3,4,5} también, a la alta precipitación pluvial característica en la región, que favorezca la lixiviación de los suelos y con ello el arrastre del selenio hacia estratos profundos.^{2,4,42}

En cuanto al contenido sanguíneo de hierro, un solo animal del total de los animales muestreados de cada lugar se encontró por abajo de lo que la literatura refiere como concentración mínima normal (200 µg/g) según McDowell,¹ que se haya asociada con anemia hemolítica. La anemia hemolítica puede ser causa de la deficiencia de hierro debido a

su utilización alterada o la pérdida excesiva de hierro que se puede encontrar asociada con una infestación severa por garrapatas, las cuales participan en la transmisión de enfermedades como anaplasmosis y piroplasmosis y con la leptospirosis en su forma subaguda.⁶⁸

En cuanto al contenido de zinc sanguíneo, 27 de los 30 animales muestreados en Catemaco, se encontraron por abajo de los valores referidos como normales (5-15 $\mu\text{g/g}$) según McDowell,¹ mientras que todos los animales muestreados de León, se encontraron por abajo de los valores de referencia.

No se señalan los resultados del contenido de cobre sanguíneo, debido a que el contenido de cobre sanguíneo estaba por debajo del límite de detección del instrumento de medición.

Los resultados de las interacciones minerales sanguíneas en bovinas, indican una asociación positiva significativa ($P < 0.0001$) entre el hierro y el zinc; lo que difiere de lo reportado por McDowell,^{1,4} Underwood,² y Georgievskii,³ sobre la existencia de una interacción antagónica entre el hierro y el zinc.

MINERALES EN SUELOS.

Los suelos tanto del altiplano guanajuatense como del sureste veracruzano resultaron deficientes en selenio (< 500 ng/g) según Camps³⁷ y Minson,⁴² lo que difiere de los resultados obtenidos por William et al,³⁸ que reportaron un alto contenido de selenio en el área del río de Guanajuato, dentro del estado de Guanajuato, en un rango de 300 a 20,000 ng/g y relacionan éste con la presencia de yacimientos minerales cercanos al área de muestreo, debido a que este río recoge residuos de los minerales extraídos de los yacimientos mineros (principalmente de plata, plomo y zinc) localizados en la región, elementos relacionados con altas concentraciones de selenio.⁶⁹

Sí se toma en cuenta que existen dentro del municipio de León, Guanajuato yacimientos de plata, plomo y zinc, así como también en la región de los Tuxtias, Veracruz existen vetas de oro y de los minerales antes mencionados, se podría esperar que hubiesen altas concentraciones de selenio en las áreas de muestreo de este estudio.^{69,70}

La deficiencia de selenio encontrada en los suelos de Catemaco, Ver. y León, Gto. concuerda con los estudios realizados en los estados de San Luis Potosí, Morelos y Estado de México considerados como suelos deficientes en selenio. Flores⁴⁵ encontró que los suelos de Santa María del

Río, San Luis Potosí de un total de 29 muestras de suelos, sólo 4 muestras presentaron una lectura por arriba del nivel de detección, con un promedio de 150 ng/g. Guerrero et al,⁴⁶ reportaron que el contenido de selenio de los suelos de Cuajomulco y Tres Marías fue <16 ng/g. Rosiles et al,¹⁷ señalaron que los suelos de Ixtlahuaca, Edo. de México presentaban 63.8 ng/g.

En lo que respecta al contenido de materia orgánica de los suelos, los suelos de Catemaco, Veracruz presentaron un mayor porcentaje de materia orgánica (25.7 ± 1) en comparación con los suelos de León, Guanajuato, que resultaron ser pobres en contenido de materia orgánica ($7.7\pm 0.9\%$). Los suelos presentaron un pH fuertemente ácido y débilmente ácido respectivamente, que es un factor asociado con una menor disponibilidad del selenio.⁴⁰

La materia orgánica favorece la disponibilidad de selenio en el suelo, ya que según Minson⁴² y Fassbender,⁴⁰ un alto contenido de materia orgánica propicia mayor retención de agua en el suelo y mayor superficie de contacto entre las partículas del suelo con los elementos minerales presentes, de ahí que haya una mayor concentración de selenio en suelos de Catemaco (60.4 ± 8.3 ng/g) que en suelos de León (41.1 ± 4.7 ng/g), aún cuando los suelos presenten un pH mayor en el altiplano mexicano, lo cual

difiere de lo que menciona Fassbender,⁴⁰ que afirma que los suelos con un alto contenido de selenio se asocian con suelos neutros o alcalinos, podríamos esperar que los suelos de León, Guanajuato presentaran un mayor contenido de selenio que los suelos de Catemaco, Veracruz.

Por otro lado, el selenio en el suelo puede estar presente en distintas formas químicas, ya sea como compuestos inorgánicos (selenito y selenato) y/o como compuestos orgánicos (selenometionina y selenocisteína).^{2,5,39} Es decir, un mayor contenido de selenio en suelos que presentan un mayor porcentaje de materia orgánica se haya asociado con el aporte de selenio en forma orgánica a partir de la materia orgánica.

En ambas regiones, los suelos presentaron un alto contenido de hierro, elemento que tiende a formar complejos con el selenio, volviéndolo indisponible, en forma de selenito ferroso básico; así como también, el pH ácido del suelo lo hace indisponible para poder ser utilizado por las plantas.^{17,40}

Además, una mayor precipitación pluvial en el trópico, que lixivia el selenio del suelo, nos puede sugerir la posible causa de la deficiencia en los suelos.^{2,4,42}

En cuanto al contenido de cobre de los suelos de Catemaco con 17.6 ± 1.3 $\mu\text{g/g}$, este se encontró ligeramente por abajo de lo que Radostiits,¹⁸ señala como adecuado (18-22 $\mu\text{g/g}$) ; mientras que el contenido de cobre de los suelos de León con 3.5 ± 0.5 $\mu\text{g/g}$ se encontró muy por abajo de lo deseable. Según Fassbender,⁴⁰ suelos con un bajo contenido de cobre total se asocian con suelos arcillosos ferruginosos y el cobre se encuentra en su forma disponible en suelos ácidos. La deficiencia de cobre de ambos suelos se puede deber al alto contenido de hierro de los suelos de ambos lugares, los suelos de Catemaco, Veracruz con 5035.9 ± 208.5 $\mu\text{g/g}$ y los suelos de León, Guanajuato con 3049.7 ± 1629.1 $\mu\text{g/g}$, y la interacción existente entre el hierro y el cobre.^{1,2,4}

También, el hidróxido de hierro ante un incremento del pH del suelo y una alta concentración de materia orgánica, adsorbe el cobre cuando está presente en forma simple de catión divalente del suelo.⁴⁰

Con respecto al zinc, los suelos de Catemaco, Veracruz con 12.5 ± 1.8 $\mu\text{g/g}$ y los de León, Guanajuato con 16.6 ± 2.7 $\mu\text{g/g}$, se encontraron dentro de lo que la literatura indica como normal (≥ 5 $\mu\text{g/g}$), lo que posiblemente se asocia con el hecho de que tanto en León como en Catemaco, existen

yacimientos de zinc. Este elemento puede ser arrastrado mecánicamente por agua; además, se encuentra más disponible en suelos ácidos.^{40,70}

MINERALES EN FORRAJES.

El contenido de selenio de los forrajes procedentes de Catemaco, Veracruz, se encontró dentro de lo que el National Research Council (NRC) reporta como mínimo aceptable (≥ 100 ng/g),^{50,51} las gramíneas con 198.4 ± 37.2 ng/g y las leguminosas con 155.7 ± 53.4 ng/g, mientras que para León todos los forrajes resultaron deficientes en selenio; lo que difiere de lo reportado por William et al,³⁸ quienes encontraron que los forrajes en Guanajuato presentaban un alto contenido de selenio (3 000 a 30 000 ng/g en la alfalfa y 15 000 ng/g en el trébol), mientras que concuerda con el estudio realizado por Escobosa³⁸ en Mexicali, Baja California Norte, quien encontró que las gramíneas contenían de 74 a 288 ng/g y leguminosas de 188 a 488 ng/g.

Estos resultados nos permiten sugerir las posibles causas de la deficiencia de selenio, entre ellas, el efecto que tienen algunas leguminosas que se comportan como plantas acumuladoras de selenio al absorber altas concentraciones de selenio, diluir el selenio presente en el suelo y convertirlo a una forma más disponible para las plantas que crecen alrededor de ellas, entre ellas, las gramíneas presentes.⁴¹

Sin embargo, aunque el contenido de selenio total del suelo no se haya relacionado en forma directamente proporcional con el contenido de selenio de todas las plantas que crecen en este suelo, ya que desconocemos en que proporción se encuentra disponible el selenio del suelo para ser utilizado por esas plantas; pero, existen plantas que sí son indicadoras de la biodisponibilidad del selenio, como las de los géneros *Astragalus*, *Xylorhiza* y *Machaeranthera*.^{2,5,16}

Por otro lado, un alto contenido de hierro en el suelo hace menos disponible el selenio del suelo, además de una alta precipitación pluvial, que lava el selenio presente en el estrato superficial del suelo y lo arrastra a estratos más profundos.^{17,40}

Con respecto al cobre, las gramíneas procedentes de Catemaco, Veracruz tuvieron 15.1 ± 1.1 $\mu\text{g/g}$ y las leguminosas 23.6 ± 2.7 $\mu\text{g/g}$; mientras que para León, Guanajuato las gramíneas tuvieron 18.4 ± 1.1 $\mu\text{g/g}$; Lo que difiere de lo reportado por Minson,⁴² quien afirma que las gramíneas de clima templado son más pobres en cobre en comparación con las leguminosas, pero bajo condiciones tropicales se invierte esta relación.

Las gramíneas procedentes de Catemaco, Veracruz, presentaron $1285.3 \pm 353.9 \mu\text{g Fe/g}$ y las leguminosas $2446.1 \pm 894.9 \mu\text{g/g}$; mientras que en León, las gramíneas presentaron $1150.2 \pm 424.9 \mu\text{g/g}$. Es decir, en los forrajes, el contenido de hierro se encontró por arriba de lo indicado como adecuado ($50\text{-}1250 \mu\text{g/g}$).^{1,50,51} Altas concentraciones de hierro sugieren interacciones con el selenio, el cobre y el zinc.^{1,2,4}

El zinc en las gramíneas de Catemaco, Veracruz fue de $39.8 \pm 3.6 \mu\text{g/g}$ y en las leguminosas de $42.2 \pm 3.7 \mu\text{g/g}$, encontrándose dentro de lo que la literatura señala como mínimo adecuado ($30\text{-}40 \mu\text{g/g}$); mientras que en León, las gramíneas presentaron $7.7 \pm 3.0 \mu\text{g/g}$; es decir, se encontraron deficientes en zinc.^{1,4,50,51}

Debido a que las concentraciones de selenio en suelos y forraje no presentaron una distribución normal, no fue posible establecer una diferencia estadística por medio de la prueba "t" de Student. No obstante, las muestras de Catemaco, presentaron una mayor concentración de selenio en comparación con las de León.

CONCLUSIONES

Este estudio contribuye con el mapeo del contenido mineral del territorio nacional, mismo que sirve como una herramienta en el diagnóstico de desórdenes minerales que repercuten en un impacto negativo sobre la productividad animal.

En este trabajo se concluye que se encontraron deficientes en selenio los suelos, forrajes y sangres de bovinos procedentes de León, Guanajuato y los suelos y sangres de bovinos de Catemaco, Veracruz.

La deficiencia de selenio en sangre de bovinos procedentes de León, Guanajuato, se haya asociada directamente con la deficiencia en forraje y suelo. Sin embargo, esta condición no ocurre en Catemaco, Veracruz.

Los suelos de Catemaco, Veracruz resultaron menos deficientes en selenio en comparación que con los suelos de León, Guanajuato. Esta deficiencia se asocia al bajo contenido de selenio per se y al pH ácido del suelo que bloquea la disponibilidad del selenio.

Los forrajes de Catemaco, Veracruz se encontraron con concentraciones adecuadas de selenio en comparación que con los de León, Guanajuato, donde son deficientes.

La deficiencia de selenio sanguíneo es más marcada en los animales procedentes de Catemaco, Veracruz que en los animales procedentes de León, Guanajuato.

RECOMENDACIONES

Se recomienda suplementar con una fuente de selenio a los animales que se encuentran deficientes en selenio, ya sea por medio de inyecciones periódicas hipodérmicas, dosificación con sales inorgánicas de selenio en el alimento o administración de bolos intrarruminales de liberación lenta, sin olvidar considerar las interacciones minerales en la relación suelo-planta-animal, para realizar el diseño de mezclas minerales completas.

Es de suma importancia el continuar con la evaluación del contenido mineral de los suelos y forrajes de la República Mexicana, así como del estatus de los animales sometidos a condiciones de pastoreo, con el fin de corregir y/o prevenir problemas de salud derivados de la deficiencia o exceso mineral, con la consecuente reducción del impacto negativo en la productividad animal.

8. LITERATURA CITADA

1. McDowell, L.R., Velásquez, P.J. y Valle, G.; *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Boletín. 3ª. ed., Academic Press, EUA, 1997.
2. Underwood, E.J.; *Trace elements in human and animal nutrition*, 4ª. ed., Academic Press, EUA, 2000.
3. Georgievskii, V.I.; Annenkov, B.N. and Samokhin, V.T.; *Mineral Nutrition of Animals*, Butterworths, Gran Bretaña, 1982.
4. McDowell, L.R.; *Minerals in animal and human nutrition*. Academic Press, EUA, 1992.
5. *Selenium in Nutrition*. Subcommittee on Selenium. Committee on Animal Nutrition. N.R.C., National Academy of Sciences, E.U.A., 1971.
6. Miller, W.J.; *Dairy cattle feeding and nutrition*. Academic Press, EUA, 1979.
7. Tilden, W.P.; *Beef cattle feeding and nutrition*, Academic Press, EUA, 1980.
8. D'Mello, J.P.F. and Devendra, C.; *Tropical legumes in animal nutrition*. CAB International, E.U.A., 1995.
9. Miller, J.K. and Brzezinska S.E.; *Oxidative stress, antioxidants and animal function*. *J. Dairy Sci.*1993; 76:2812-2823.
10. Nockels, C.F.; *Antioxidants improve cattle immunity following stress*. *Anim. Feed Sci. Tech.* 1996; 62:59-68.
11. Chihuailaf, R.H.; Contreras, P.A. y Wittwer, F.G.; *Patogénesis del estrés oxidativo: Consecuencias y evaluación en salud animal*. *Vet. Mex.* 2002; 33(3): 265-283.
12. The PERKIN-ELMER Corporation. *Operation Manual Atomic Absorption Spectrometer model Aanalyst 100*, EUA, 1996.
13. Aluja A.S. de y Adame P.; *Miopatía degenerativa en becerros*. *Vet. Mex.*1977; 8:2-12.
14. Conrad, J.H.; McDowell, L.R. and Ellis, G.L.; *A review of mineral deficiency syndromes in ruminants in humid tropical regions*, *Preventive Veterinary Medicine* 1984; 2(1-4):603-614.
15. Eger, S.; Drori, D.; Kadoori, I.; Miller, N. and Schindler, H.; *Effects of selenium and vitamin E on incidence of retained placenta*. *J. Dairy Sci.* 1985; 68:2119-2122.
16. González, S.A.E.; *Plantas tóxicas para el ganado*. Limusa, México, 1989.
17. Rosiles, M.R.; Aguilar, A.M.A. y Ramírez, L.J.; *Deficiencia de selenio en un hato de bovinos que sufren del síndrome de mal de altura de Ixtlahuaca*, Edo. de México. *Vet Mex.* 1997; 28:55-57.
18. Radostits, O.M.; Gay C.C.; Blood D.C. y Hinchcliff K.W.; *Medicina Veterinaria: Tratado de las enfermedades del ganado bovino, ovino,*

- porcino, caprino y equino. Vol. II , 9ª. ed., McGraw-Hill-Interamericana, España, 1999.
19. Smith, O.B. and Akinbamijo, O.O.; Micronutrients and reproduction in farm animals. *Anim. Reprod. Sci.* 2000; 60-61:549-560.
 20. Behne, D.; Weiler, H. and Kyriakopoulos, A.; Effects of selenium deficiency on testicular morphology and function in rats. *J. Reprod. Fertil.* 1996; 106:291-297.
 21. Badinga, L.; Thatcher, W.; Diaz, T.; Drost, M. and Wolfenson, D.; Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cows. *Theriogenology* 1993; 39:797-810.
 22. Fujitani, Y.; Kasai, K.; Ohtani, S.; Nishimura, K.; Yamada, M.; Utsumi, K.; Effect of oxygen concentration and free radicals on in vitro development of in vitro-produced bovine embryos. *J. Anim. Sci.* 1997; 75:483-489.
 23. Gardiner, C.S. and Reed, D.J.; Glutathione during oxidant-induced oxidative stress in the preimplantation mouse embryo. *J. Reprod.* 1994; 51:1307-1314.
 24. Harrison, J. H.; Hancock, D.D. and Conrad, H.R.; Vitamin E and selenium for reproduction of the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 1984; 67: 123-132.
 25. Jukola, E.; Selenium, vitamin E, vitamin A and beta-carotene status of cattle in Finland with special reference to epidemiological udder health and reproduction data. (Tesis de Licenciatura). Suiza, 1994.
 26. Margolin; Aten, R.F. and Behrman, H.R.; Antigonadotropic and antisteroidogenic actions of peroxide in rat granulosa cells. *Endocrinology* 1990; 127:245-250.
 27. Bendich, A.; Antioxidants, immune response and animal function: Physiological role of antioxidants in the immune system. *J. Dairy Sci.* 1993; 76:2789-2794.
 28. Boyne, R. and Arthur, J.R.; Alterations of neutrophil function in selenium deficient cattle. *J. Comp. Path* 1979; 89:151-158.
 29. Grasso, P.J.; Scholz, R.W.; Erskine, R.J. and Eberhart, R.J.; Phagocytosis, bactericidal activity and oxidative metabolism of milk neutrophils from dairy cows fed selenium-supplemented and selenium-deficient diets. *Am. J. Vet. Res.* 1990; 51(2):269-274.
 30. Smith, K.L.; Hogan, J.S. and Conrad, H.R., Selenium in dairy cattle: It's role in disease resistance. *J. Vet Med.* 1988; 83: 72-78.
 31. Kankofer, M.; Antioxidative defense mechanisms in bovine placenta and their importance for placental release. *Reprod. Dom. Anim.* 2000; 35:229-233.
 32. Cao, Y.; Maddox, J.F.; Mastro, A.M.; Scholz, R.W.; Hildenbrandt, G. and Reddy, C.C.; Biochemical and molecular roles of nutrients:

- Selenium deficiency alters the lipoxygenase pathway and mitogenic response in bovine lymphocytes. *J. Nutr.* 1992; 122:2121-2127.
33. Hogan, J.S.; Weiss, W.P. and Smith, K.L.; Role of vitamin E and selenium in host defense against mastitis. *J. Dairy Sci.* 1993; 76:2795-2803.
 34. Olguín, P.E.I.; Efecto de la suplementación hipodérmica de selenio en la salud de la glándula mamaria. (Tesis de Maestría). FMVZ-UNAM, México, 2002.
 35. Smith, K.L.; Harrison, J.H. and Conrad, H.R.; Effect of vitamin E and selenium supplementation on incidence of clinical mastitis and duration of clinical symptoms. *J. Dairy Sci.* 1984; 67:1293-1300.
 36. Valle, G.; McDowell, L.R.; Prichard, D.L.; Chenoweth, P.J.; Wright, D.L.; Martin, F.G.; Kunkle, W.E.; Tiffany, M.E. and Wilkinson, N.S.; Effect of selenium supplementation on thyroid hormone of growing beef calves. *Inter. J. Anim. Sci.* 2001; 16(2):277-281.
 37. Camps, A.M.; La problemática del selenio en suelos contaminados del estado de California, EUA; Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, Edafología, Fac. de Biología de la Universidad de Santiago de Compostela 2001; 8(2): 31-44.
 38. Strouth, M.K.D.; Niveles de selenio en alfalfa y sangre de vacas Holstein y correlación entre niveles de selenio y glutatión peroxidasa. (Tesis de Maestría). FMVZ-UNAM, México, 1985.
 39. Rojas, L.X.; McDowell, L.R.; Martin, F.G. y Wilkinson, N.S.; Estado mineral de suelos, pastos y ganado de carne en el sureste de Venezuela. Síndrome Parapléjico: una revisión. *Zootecnia Tropical* 1992; 11:27-47.
 40. Fassbender, W. y Bornemisza, E.; Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ª. ed., IICA, Costa Rica, 1987.
 41. Foth, H. D.; *Fundamentals of soil science.* 8ª. ed., Wiley, EUA, 1990.
 42. Minson, D.J.; *Forage in ruminant nutrition.* Academic Press, EUA, 1990.
 43. Rosiles, M.R.; González, R.V.M.; López, L.R. y Peña, P.J.; Niveles comparativos de selenio en pelo de bovinos sanos a nivel del mar con los de insuficiencia cardíaca del valle de México. *Vet. Mex.* 1993; 24(2):135-137.
 44. Velázquez, P.J; McDowell LR, L.; Conrad, J.; Wilkinson, N. and Martin, F.; Mineral status of soils, forages and cattle in Nicaragua. I. *Microminerals. Rev. Fac. Agron (LUZ)* 1997; 14:73-89.
 45. Flores, V. E.; Niveles de selenio, cobre, sodio, potasio y molibdeno en suelos forrajeros en el municipio de Santa María del Río, S.L.P. (Tesis de Licenciatura). FMVZ-UNAM, México, 1995.
 46. Guerrero, B. L.L.; Interrelación del contenido de selenio y cobre en lana de ovinos y suelo de Cuajomulco y Tres Marías, Morelos. (Tesis de Licenciatura). FMVZ-UNAM, México, 1996.

47. Wichtel, J.J.; A review of selenium deficiency in grazing ruminants. Part 1. New roles for selenium in ruminant metabolism. *New Zealand Veterinary Journal* 1998; 46:47-52.
48. Wichtel, J.J.; A review of selenium deficiency in grazing ruminants. Part 2. Towards a more rational approach to diagnosis and prevention. *New Zealand Veterinary Journal* 1998; 46:54-58.
49. VanRyssen, J.B.j.; Geographical distribution of selenium status of herbivores in South Africa. *South African J. Anim. Sci.* 2001; 31:1-8.
50. National Research Council; Nutrient requirements of dairy cattle, 6a ed., Natl Acad. Sci, EUA, 1988.
51. National Research Council; Nutrient requirements of beef cattle, 6a ed., Natl Acad. Sci, EUA, 1988.
52. Puls, R.; Mineral levels in animal health: Diagnostic data. 2a. ed., Sherpa Int, Clearbrook, BC; Canadá, 1994.
53. Gerloff, B.J.; Effect of selenium supplementation on dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 1992; 70:3934-3940.
54. Neville, G.; Managing trace element deficiencies. *Agricultura Research*, New Zealand, 1994.
55. Valle, G.; McDowell, L.R.; Prichard, D.L.; Chenoweth, P.J.; Wright, D.L.; Martin, F.G.; Kunkle, W.E. and Wilkinson, N.S.; Supplementing organic and inorganic selenium on yearling cattle performance and tissue selenium concentrations. *Inter. J. Anim. Sci.* 2001; 16(2):283-289.
56. Ellison, R.S.; Major trace elements limiting livestock performance in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal* 2002; 50(3):35-40.
57. García, E. ; Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen, 3º. ed., México, 1981.
58. Díaz, R.R. y Hunter, A.; Metodologías de muestreo de suelos. CATIE, Costa Rica, 1978.
59. Havard-Duclos, B.; Las plantas forrajeras tropicales. Col. *Agricultura Tropical*, BLUME, México, 1979.
60. Rzedowski, J.; Vegetación de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN, Limusa, México, 1988.
61. Skerman, P.J. y Riveros, F.; Gramíneas tropicales. Col. FAO: Producción y protección vegetal no. 23, Roma, 1992.
62. Skerman, P.J.; Cameron, D.G. y Riveros, F.; Leguminosas forrajeras tropicales. Col. FAO: Producción y protección vegetal no. 2, Roma, 1991.
63. Fischer, R.B. y Peters, D.G.; Compendio de Análisis Químico Cuantitativo. Iberoamericana, México, 1971.
64. Lynch, M.J., e Inwood, M.J.; Métodos de laboratorio. 2º. ed., Interamericana, México, 1972.
65. CEM Corporation; Operation Manual Microware Digestion System model MDS 2000; EUA, 1997.

66. Thompson, J.C.; Thornton, R.N.; Bruere, S.N. and Ellison, R.S.; Selenium reference ranges in New Zealand cattle. *New Zealand Veterinary Journal* 1998; 46:65-67.
67. Otaiza, EV; Cumare, V; Velo C. Contenido de selenio en sangre de bovinos de Venezuela II. Zona Centro-Occidental. *Agronomía Tropical* 1982; 31(1-6): 131-140
68. Reid, R.L. and Horvath, D.J.; Soil chemistry and mineral problems in farm livestock. A review. *Anim. Feed Sci. Tech.* 1980; 5: 95-167.
69. Monografía Geológico-Minera del Estado de Guanajuato. Consejo de Recursos Minerales; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal; México, 1992.
70. Monografía Geológico-Minera del Estado de Veracruz. Consejo de Recursos Minerales; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal; México, 1994.

CUADRO 1.

**CONTENIDO DE MINERALES, MATERIA ORGANICA Y pH DE LOS SUELOS
DE CATEMACO, VERACRUZ Y LEON, GUANAJUATO**

	CATEMACO, VER.	LEON, GTO.
pH	4.42±0.6	6.1±0.1
% M.O.	25.7±1.0	7.7±0.9
Se (ng/g)	60.4±8.3	41.1±4.7
Cu (µg/g)	17.6±1.3	3.5±0.5
Fe (µg/g)	5035.9±208.5	3049.7±1629.1
Zn (µg/g)	12.5±1.8	16.6±2.7

* Promedio ± error estándar

CUADRO 2.

**CONTENIDO MINERAL DE LAS GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS
DE CATEMACO, VERACRUZ**

MINERAL	LEGUMINOSAS*♣	GRAMÍNEAS*
Se (ng/g)	155.7±53.4	198.4±37.2
Cu (µg/g)	23.6±2.7	15.1±1.1
Fe (µg/g)	2446.1±894.9	1285.3±353.9
Zn (µg/g)	42.2±3.7	39.8±3.6

* Promedio ± error estándar

♣ Dentro de las leguminosas se incluyen: *Desmodium triflorum* y *Mimosa pudica*.

Leguminosas: 10

Gramíneas: 13

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

CUADRO 3.

CONTENIDO MINERAL DE LOS FORRAJES DE CATEMACO, VERACRUZ

FORRAJE	Se* (ng/g)	Cu* (µg/g)	Fe* (µg/g)	Zn* (µg/g)
<i>Brachiaria brizantha</i> (n=2)	236.6±11.7	10.3±0.1	199.6±95.9	22.2±0.7
<i>Cynodon plectostachyus</i> (n=8)	218.0±55.6	16.7±1.4	1272.0±239.9	42.5±3.5
<i>Cynodon dactylon</i> (n=3)	120.9±54.5	14.1±1.2	2044.5±1030. 6	44.2±10.2
<i>Desmodium triflorum</i> (n=8)	163.1±65.6	25.5±2.9	2635.5±1108. 4	39.4±4.5
<i>Mimosa pudica</i> (n=2)	126.0±79.6	15.9±4.8	1688.6±933.1	41.4±7.9

* Promedio ± error estándar

CUADRO 4.

**CONTENIDO MINERAL DE LAS GRAMÍNEAS
DE LEON, GUANAJUATO**

MINERAL	GRAMÍNEAS*
Cu ($\mu\text{g/g}$)	18.4 \pm 1.1
Fe ($\mu\text{g/g}$)	1150.2 \pm 424.9
Zn ($\mu\text{g/g}$)	7.7 \pm 3.0

*Promedio \pm error estándar.

**Respecto a la concentración de selenio,
sólo una muestra presentó un valor mayor
al límite de detección.**

Gramíneas: 16

CUADRO 5.

CONTENIDO MINERAL DE LOS FORRAJES DE LEON, GUANAJUATO

FORRAJES	Cu*	Fe*	Zn*
	($\mu\text{g/g}$)	($\mu\text{g/g}$)	($\mu\text{g/g}$)
<i>Bouteloua gracilis</i> (n=10)	19.8 \pm 0.7	781.1 \pm 21.0	6.3 \pm 4.8
<i>Bromus inermis</i> (n=1)	13.4	7294.5	13.5
<i>Lycurus phleoides</i> (n=1)	11.1	2082.8	4.3
<i>Muhlenbergia crispiseta</i> (n=1)	25.2	116.8	13.1
<i>Pennisetum clandestinum</i> (n=3)	15.8 \pm 1.5	366.0 \pm 258.0	9.8 \pm 0.9

*Promedio \pm error estándar.

Respecto a la concentración de selenio, sólo una muestra de Z. Kikuyo
presentó un valor mayor al límite de detección.

CUADRO 6.

**CONTENIDO MINERAL SANGUÍNEO DE BOVINOS PROCEDENTES
DE CATEMACO, VER. Y LEON, GTO.**

MINERAL	CATEMACO, VER.*	LEON, GTO.*
Se (ng/g)	32.2±11.3	45.2±22.4
Fe (µg/g)	434.5±101.3	383.1±46.6
Zn (µg/g)	3.8±1.3	1.8±0.9

* Promedio ± error estándar

CUADRO 7.

**NIVELES DE SELENIO SANGUÍNEO DE BOVINOS
DE CATEMACO, VER. Y LEON, GTO.**

NIVEL SANGUINEO	CATEMACO, VER.		LEON, GTO.		TOTAL	
	#♦	%♦	#♦	%♦	#♦	%♦
≥0.1 ppm	0	0	1	1	1	1
0.075-0.1 ppm	0	0	7	9	7	6
0.05-0.075 ppm	2	7	24	30	26	23
< 0.05 ppm	28	93	49	60	77	70
No. ANIMALES	30		81		111	

#♦: Número de animales

%♦: Porcentaje de animales

CUADRO 8.

**INDICES DE CORRELACION DEL CONTENIDO
DE MINERALES SANGUINEOS DE BOVINOS**

	Se	Fe	Zn
Se	1	-0.07892* (0.4103)	-0.13437* (0.1597)
Fe		1	0.46084** (<0.0001)
Zn			1

*no significativo $P>0.05$

** significativo $P<0.0001$

Bovinos: 111 sangres

CUADRO 9.

INDICES DE CORRELACION DEL CONTENIDO DE MINERALES SANGUÍNEOS DE BOVINOS DE CATEMACO, VER.

	Se	Fe	Zn
Se	1	0.27812* (0.1367)	0.13751* (0.4687)
Fe		1	0.40771** (0.0253)
Zn			1

* no significativo $P > 0.05$

**significativo $P < 0.05$

Bovinos: 30 sangres

CUADRO 10.

INDICES DE CORRELACION DEL CONTENIDO DE MINERALES SANGUÍNEOS DE BOVINOS DE LEON, GTO.

	Se	Fe	Zn
Se	1	-0.08510* (0.4500)	0.15111* (0.1781)
Fe		1	0.20127* (0.0716)
Zn			1

*ns $P > 0.05$

Bovinos: 81 sangres

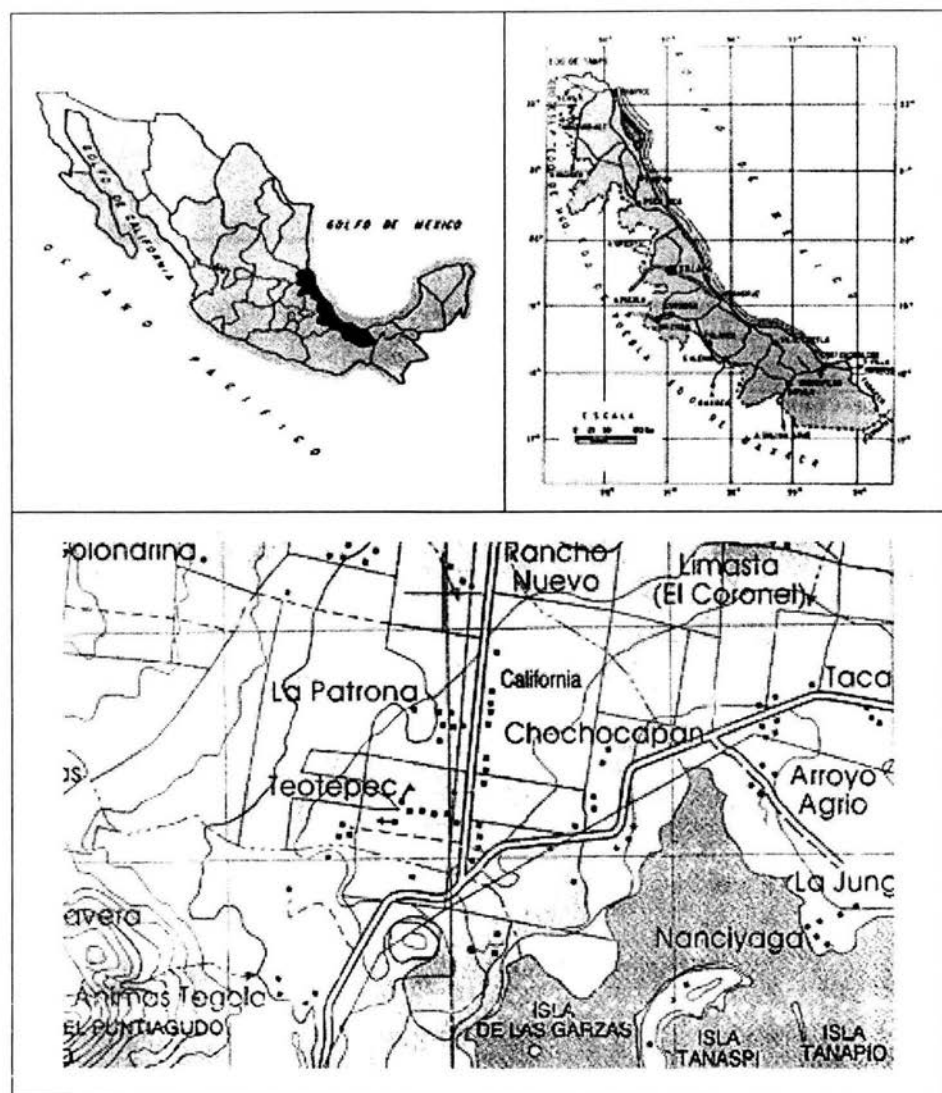


FIGURA 1.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE CATEMACO, VERACRUZ.

Fuente: Síntesis geográfica de Catemaco, Ver.

Cuaderno estadístico municipal – 1998, INEGI

Carta topográfica 1:50 000

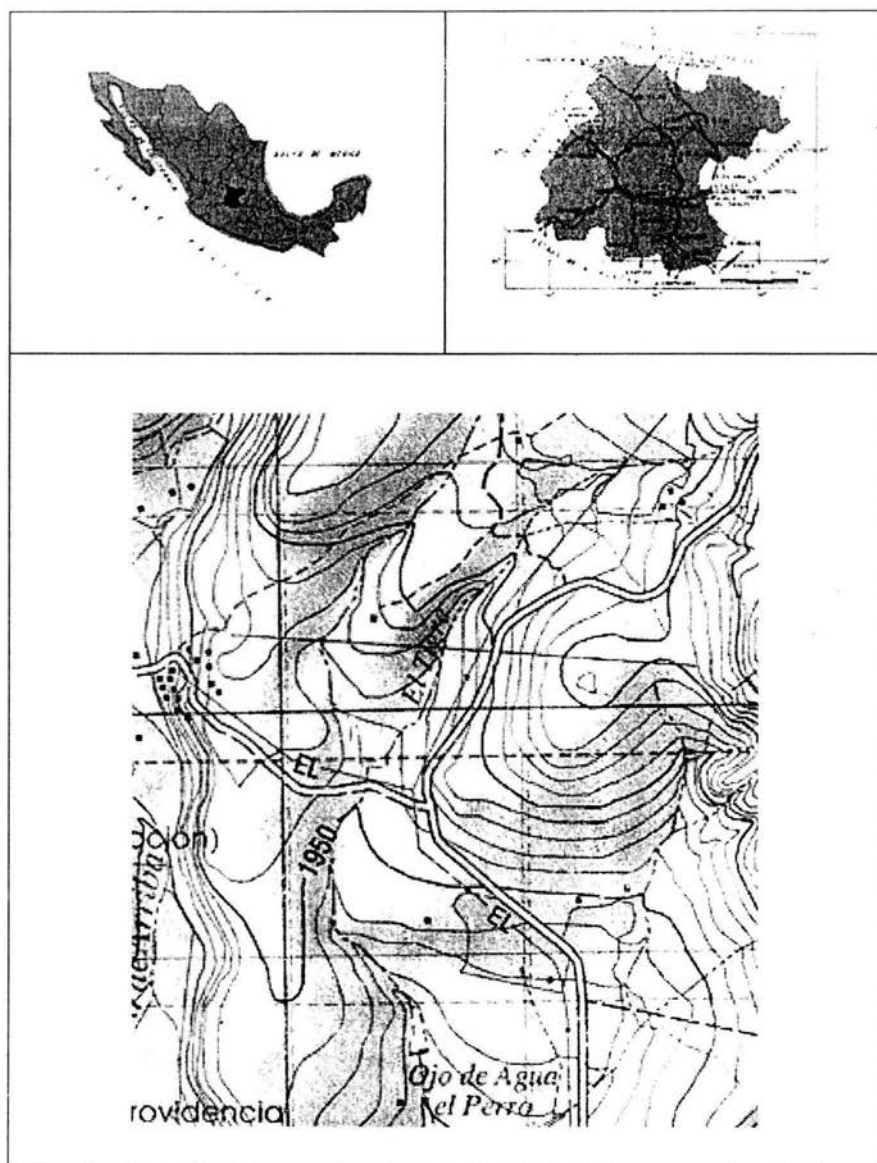


FIGURA 2.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LEÓN, GUANAJUATO.

Fuente: Síntesis geográfica de León, Gto.

Cuaderno estadístico municipal – 1999, INEGI

Carta topográfica 1:50 000

