



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**DIAGNÓSTICO DE MINERALES EN SUELOS,
PLANTAS Y TEJIDO HEMÁTICO DE CABRAS EN
PASTOREO EN LAS REGIONES DE VALLES
CENTRALES Y LA MIXTECA DE OAXACA**

ORTIZ MORALES OSCAR

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

JULIO 2015

La presente tesis titulada: **Diagnostico de minerales en suelos, plantas y tejido hemático de cabras en pastoreo en las regiones de valles centrales y la mixteca de Oaxaca**, realizada por el alumno: **Oscar Ortiz Morales** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

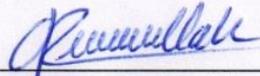
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



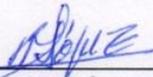
Dr. J. Efrén Ramírez Bribiesca

ASESOR



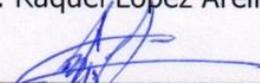
Dra. Alma Luisa Revilla Vásquez

ASESOR



Dra. Raquel López Arellano

ASESOR



Dra. Rosy Gabriela Cruz Monterrosa

ASESOR



Dr. Sergio Segundo González Muñoz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio 2015

Diagnóstico de minerales en suelos, plantas y tejido hemático de cabras en pastoreo en las regiones de valles centrales y la mixteca de Oaxaca.

**Oscar Ortiz Morales, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2015.
Resumen**

El objetivo del estudio fue determinar la concentración de algunos macro, micro y minerales traza, en suelos, forrajes (gramíneas, herbáceas y arbustivas) y sangre de cabras en pastoreo en las regiones de Valles Centrales y Mixteca Oaxaqueña de México. Los datos tuvieron un arreglo factorial, considerando las localidades de cada una de las dos regiones de estudio. La comparación de medias aritméticas se realizó con la prueba de Tukey. Los resultados se describen de la manera siguiente: **1) Minerales en suelos:** La concentración de Calcio (Ca) en el suelo de las comunidades de la Mixteca y Valles Centrales, difirieron entre comunidades ($P < 0.005$). Las muestras de suelo de Sn. Pedro Guegorexe tuvieron mayor contenido de Ca (12.43 %), seguido de los suelos de Chocani, Quiané, Cuautepec y la Lobera. Las concentraciones de Fósforo (P) de la Huertilla y Tindú tuvieron contenidos de 2 a 34 ppm. La concentración de Magnesio (Mg) no difirió entre comunidades ($P > 0.05$). El 40 % de las comunidades, no cubrieron el contenido mínimo de 30 ppm requerido en plantas. El potasio (K) presentó un promedio de 60 ppm. En hierro (Fe), 70 % de las comunidades presentaron valores mayores a 4.5 ppm. Todas las comunidades presentaron el mínimo requerido de cobre de 0.60 ppm. La mitad de los suelos presentó deficiencia de Mn (< 7 ppm). No se detectaron contenidos de selenio en San Pablo Huixtepec, Buena Vista y San Marcos Arteaga. Las concentraciones de zinc (Zn) fueron mayores al mínimo (2 ppm). Todas las comunidades superaron el criterio de toxicidad para plantas de 10 ppm en aluminio. En arsénico, se encontraron diferencias ($P < 0.001$) entre comunidades y entre regiones; la comunidad de Sn Pedro Guegorexe fue la que presentó una mayor concentración. En cadmio, tres comunidades de la Mixteca (La Huertilla, San Marcos Arteaga, y Tindú) y dos de Valles Centrales (Buena Vista y San Pablo Huixtepec) no se detectaron valores al momento del análisis. En vanadio, 50 % de las comunidades tuvieron el promedio de 78 ppm. **2) Minerales en forrajes:** Hubo diferencias estadísticas de Ca entre regiones ($P = 0.0070$) y comunidades ($P < 0.0001$). En P hubo diferencia estadística ($P < 0.0001$) entre comunidades, los forrajes de San Pablo Huixtepec, mostraron la mayor concentración (4,980 ppm).

Todos los forrajes cumplieron con el mínimo recomendado de K (12 g/kg de MS). En Mg, se presentó diferencia entre comunidades ($P < 0.0001$), el contenido fue de entre 1200 y 1800 ppm. En Al, se encontró diferencia entre comunidades ($P = 0.0011$); los forrajes en Valles tuvieron mayor concentración de Al. La concentración de As sobrepasó el requerimiento mínimo para cabras (50 ppm). La comunidad de Santa Catarina Quiané tuvo la mayor concentración de Cd (1.16 ppm) y los forrajes de la Huertilla la mayor concentración de litio (165.22 ppm). El contenido de Ni (10 ppm) fue deficiente en todos los forrajes. La concentración de Co (0.1-0.2 ppm) contuvo el mínimo requerimiento para cabras. Los forrajes de la Huertilla fueron deficientes en Fe (30-50 ppm). Santa Catarina Quiané tuvo la mayor concentración de Mn (218.31 ppm). Los forrajes de Cuahutepec y Tindú en la Mixteca presentaron concentraciones adecuadas de Se, mientras que el resto de forrajes tienen concentraciones críticas. Los forrajes de Sta. María Tindú tuvieron la mayor concentración de Zn (60.96 ppm). **3) Minerales en sangre:** Las cabras en las comunidades de la Huertilla, Cuauhtepic y Sn. Marcos Arteaga, tuvieron la menor concentración de Ca (< 60 mg/L). No hubo diferencias de P entre comunidades ($P > 0.05$). El K en sangre tuvo la concentración normal de 150-200. La concentración de Mg en la sangre de cabras en la comunidad de La Lobera fue de 20 a 40 mg/L. La concentración hemática de cobalto en las cabras de Sta. María Tindú y La Lobera fueron de 0.052 mg/L y 0.064 mg/L, respectivamente. Se detectaron deficiencias hemáticas de Cobalto en caprinos de las comunidades de Sn. Pedro Guegorexe y Quiané, La Huertilla, Cuauhtepic, Sn. Marcos Arteaga y Chocani. Las concentraciones hemáticas de cobre fueron de más de > 1.5 mg/L en las comunidades de Quiané, Tindú y La Lobera. La concentración hemática de Se fue de 0.150-0.250 mg/L en la comunidades de La Lobera, Sn. Marcos Arteaga y Quiané. El contenido hemático de Zn en todas las cabras fue normal (2.5-6 ppm). El contenido hemático de Al en las cabras de La mixteca oaxaqueña fueron altos, principalmente la comunidad de Cuauhtepic tuvo 0.912 ppm. La cantidad hemática de As en las cabras de Chocani fue de 0.0036 mg/L. Las concentraciones hemáticas en caprinos de Cd, Li y V mostraron diferencias entre regiones ($P > 0.05$), ninguno de estos elementos alcanzó concentraciones máximas tóxicas que determinen un riesgo a los animales en las regiones de estudio.

Minerales, cabras, pastoreo, sangre.

“Diagnosis of minerals in soil, plants and hematic tissue of grazing goats on the Central Valley and Mixtec regions of Oaxaca”

**Oscar Ortiz Morales, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2015.
Abstract**

The aim of the study was to determine the concentration of some macro, micro and trace minerals, soils, forages (grasses, forbs and shrubs) and blood of goats grazing in the regions of Central Valleys and Mixteca Oaxacan Mexico. The data had a factorial arrangement, considering the locations of each of the two areas of study. Comparison of arithmetic means was performed with Tukey's test. The results are described as follows: **1) Mineral soils:** The concentration of calcium (Ca) in the soils of the communities of the Mixteca and Valleys, differ between communities ($P < 0.005$). Soil samples of St Pedro Guegorexe had higher Ca content (12.43%), followed by Chocani soils in Quiané, Cuauhtepic and Lobera. The concentrations of phosphorus (P) and Tindú Huertilla contents were 2 to 34 ppm. The concentration of magnesium (Mg) did not differ between communities ($P > 0.05$), 40% of communities, did not cover the minimum content of 30 ppm required in plants. Potassium (K) presented an average of 60 ppm. Iron (Fe), 70% of communities had higher values to 4.5 ppm. All Communities had the required minimum of 0.60 ppm copper. Half of the soils had Mn deficiency (< 7 ppm). Selenium deficiency in San Pablo Huixtepec, Buena Vista and San Marcos Arteaga were detected. The concentrations of zinc (Zn) were greater than the minimum (2 ppm). All communities exceeded the toxicity criterion for plants 10 ppm aluminum. Arsenic differences ($P < 0.001$) between communities and between regions were found and St. Pedro Guegorexe was the higher concentration. In Cadmium, three communities of the Mixteca (The Huertilla, San Marcos Arteaga, and Tindú) and two Central Valley (Buena Vista and San Pablo Huixtepec) had detected no values. In Vanadium, 50% of communities had the average of 78 ppm. **2) Minerals in forages:** There were statistical differences between regions Ca ($P = 0.0070$) and communities ($P < 0.0001$). In P, there was statistical difference ($P < 0.0001$) between communities. Forages in San Pablo Huixtepec, showed the highest concentration (4,980 ppm). All forages had the recommended minimum of K (12 g / kg DM). There were Mg differences concentration between communities ($P < 0.0001$) 1200 and 1800 ppm. In Al, the difference between communities ($P = 0.0011$) was found; Valle forage region had a

higher concentration of Al. The concentration of As exceeded the minimum requirement for goats (50 ppm). The community of Santa Catarina Quiané had the highest concentration of Cd (1.16 ppm) and forages of Huertilla the highest concentration of lithium (165.22 ppm). Ni content (10 ppm) was deficient in all the forages. The Co (0.1-0.2 ppm) concentration had the minimum requirements for goats. Huertilla forages were deficient in the Fe (30-50 ppm). Quiané Santa Catarina had the highest concentration of 218.31 ppm Mn. Cuahutepec forages and Tindú in the Mixteca had adequate concentrations of Se, while the other forages had a critical Se concentrations. Forages of Sta. Maria Tindú had the highest concentration of Zn (60.96 ppm). 3) **Mineral in blood goats:** Goats in the communities of Huertilla, Cuauhtepic and Sn. Arteaga frames, had the lowest concentration of Ca (<60 mg / L). There were no differences in P concentration between communities ($P > 0.05$). K had normal blood concentration of 150-200. Goats in the communities of La Lobera in Central Valley had Mg concentration around of 20-40 mg / L. Cobalt concentration in blood goats of Sta. Maria Tindú and la Lobera had 0.052 mg / L and 0.064 mg / L. Cobalt deficiency in blood of goats was detected in St. Pedro Guegorexe, Quiané, La Huertilla, Cuauhtepic, Sn. Marcos Arteaga and Chocani. The blood concentrations of copper were over > 1.5 mg / L in the communities of Quiané, Tindú and La Lobera. The blood concentration of Se was 0150-0250 mg / L in the communities of La Lobera, Sn. Marcos Arteaga and Quiané. The hematic content of Zn in all goats was normal (2.5-6 ppm). The hematic content of Al in the Oaxacan Mixteca goats were high, mainly Cuauhtepic community had 0.912 ppm. As the amount of blood As in goats was 0.0036 mg / L in Chocani community. All goats blood concentrations of Cd, Li and V showed differences between regions ($P > 0.05$), none of these elements reached maximum concentrations toxic to determine a risk to the animals in the study regions.

Key words.

Minerals, goats, grazing, blood.

AGRADECIMIENTOS

Fundación PRODUCE Oaxaca quienes a través del proyecto productivo intitulado “Evaluación de fórmulas de premezclas minerales adecuadas para la producción de caprinos en las regiones de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña” Folio No. 20-2013-0303 por financiaron parte de esta investigación.

Proyecto FIDEICOMISO No.167304 para la investigación científica y desarrollo tecnológico del Colegio de Postgraduados, por haber financiado parte de esta investigación.

A Dios por permitirme vivir y ser apoyo en todo momento de nuestra existencia. Por guiarme. Por darnos la oportunidad de ser padres de una hermosa hija.

A todos los contribuyentes que gracias a ellos y a través de CONACYT financiaron mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados y al programa Ganadería que gracias a sus catedráticos, han desarrollado en mí habilidades y conocimientos para un mejor desarrollo profesional.

A mi consejero el Doctor J. Efrén Ramírez Bribiesca, por creer en mí, por sus consejos y acertadas correcciones, por siempre exigirnos un extra y de esa manera contribuir en nuestra formación personal y profesional. Por ser una excelente persona y un gran amigo. GRACIAS DOCTOR.

Al Doctor Sergio S. González Muñoz por sus acertadas aportaciones, gracias Doctor, por adentrarme en el mundo de la lectura literaria y formarme una visión diferente de la vida y mi entorno. Por siempre remarcarme mis errores. Aún tengo muy presentes sus palabras “Breve, Claro y Preciso. Sujeto, verbo, predicado, pero sobre todo ¿Qué harías para solucionar la situación por la que atraviesa Oaxaca? “. Aún no tengo una respuesta concreta.

A las Doctora Alma L. Revilla V. y Raquel López Arellano por sus consejos y por poner a nuestra disposición todo lo necesario para que esta investigación se realizara, y por contribuir en mi formación personal y profesional.

A la Doctora Rosy G. Cruz Monterrosa, por sus consejos, por contagiarme deseos de superación, alegría y por compartir experiencias profesionales. Muchas gracias.

A todo mi consejo y en especial a mi gran amigo y padre académico el Doctor Jorge Hernández Bautista por creer en mí, por apoyarme personal y profesionalmente, sin usted –Inge- yo no estaría aquí. En ustedes he visto humildad, he aprendido que el conocimiento debe compartirse, y que dicho conocimiento es enemigo de la arrogancia.

A mi gran amigo Carlos López Ojeda, de ti aprendí a borrar las palabras “no se puede”, a quitarme el miedo a la tecnología, gracias a ti aprendí a ver a los demás como personas y no por el título que ostentan. Gracias Amigo.

A los Doctores Ladislao y Ramón de la UAMI, por facilitarnos su laboratorio y equipo para realizar los trabajos necesarios para esta tesis.

A Janani por apoyarme en el análisis de las muestras, a pesar de tus problemas de salud, eres una persona increíble, jamás cambies.

Un agradecimiento muy especial a todos los productores caprinos de Oaxaca que de una u otra manera nos apoyaron, con sus conocimientos sobre plantas consumidas por las cabras y sobre todo por la confianza que depositaron en nosotros para trabajar con sus rebaños. A los señores Juan, Severino, Daniel, a los hermanos Rafa y Carlos, a don Juan Gaspar, Carlos Gaspar, Doña Felicitas, Doña Gabriela, a Don Norberto, Don Macrino, Don Roberto, Doña Alcira, Erik, Don Biliulfo, a la Sra. Aurora y familia, a Doña Angelina, al Sr. Nicolas y familia al Sr Virgilio, Don Abel, A Don Rigoberto. Muchas gracias sin ustedes y sin su apoyo y cooperación esta investigación no hubiera sido posible.

A mis compañeros del colegio, amigos, vecinos, a mis profesores y secretarias de cada uno me llevo excelentes conocimientos, recuerdo y experiencias. A Doña Helena Islas y Don Antonio Bata gracias por recibirnos en su hogar y por estar siempre pendiente de nuestra alimentación y salud.

DEDICATORIAS

A mis queridos padres Elia Morales Pérez y Zenón A. Ortiz Castellanos y hermanos Manuel y Eloy Ortiz Morales por apoyarnos incondicionalmente en todo momento, sin ustedes yo no sería lo que hoy soy. Los amo.

A mi amada esposa Verónica Díaz Castillejos, gracias por ser mi fuente de inspiración y mi soporte, por apoyarme en los buenos y malos momentos, sin ti este logro jamás se hubiera conseguido. Te amo.

A nuestra hija Jade Ortiz Díaz por inspirarnos tanto amor, felicidad y fortaleza.

Contenido	Página
Resumen	iii
Abstract	v
Agradecimientos	vii
Dedicatorias	ix
Contenido	x
Índice de figuras	xiii
Índice de cuadros	xiii
Índice de gráficas	xii
1. Introducción	1
2. Revisión de literatura	3
2.1 Sistemas extensivos	5
2.2 Sistemas semiintensivos o semiestabulados	7
2.3 Sistemas intensivos	7
2.4 Minerales	8
2.4.1 Calcio	10
2.4.2 Fósforo	11
2.4.3 Potasio	13
2.4.4 Magnesio	14
2.4.5 Hierro	16
2.4.6 Manganeso	18
2.4.7 Selenio	20
2.4.8 Cobre	21
2.4.9 Cobalto	23
2.4.10 Zinc	25
2.4.11 Aluminio	27
2.4.12 Arsénico	27
2.4.13 Níquel	30
2.4.14 Litio	31
2.4.15 Vanadio	31
3. Hipótesis	33
4. Objetivo General	34
5. Objetivos específicos	35

6. Materiales y método	36
7. Resultados y Discusión	41
7.1 Macroelementos en suelo	41
7.2 Microelementos en suelo	44
7.3 Elementos ultratraza en suelo	49
7.4 Macroelementos en forrajes	56
7.5 Elementos ultratraza en forrajes	61
7.6 Microelementos en forrajes	67
7.7 Macroelementos en sangre	74
7.8 Microelementos en sangre	78
7.9 Elementos ultratraza en sangre	84
8. Conclusiones	90
9. Bibliografía consultada	91

Lista de figuras

	Página
Figura 1. Estados de mayor inventario caprino en México	4
Figura 2. Efecto del pH en suelo sobre la solubilidad de algunos elementos químicos	9

Lista de Cuadros

	Página
Cuadro1. Clasificación de los minerales de importancia para forrajes	34

Lista de gráficas

	Página
Gráfica 1. Concentraciones de Calcio en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	40
Gráfica 2. Concentraciones de Fósforo en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	40
Gráfica 3. Concentraciones de Magnesio en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	40
Gráfica 4. Concentraciones de Potasio en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	40
Gráfica 5. Concentraciones de Hierro en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	44
Gráfica 6. Concentraciones de Cobre en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	44
Gráfica 7. Concentraciones de Cobalto en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	44
Gráfica 8. Concentraciones de Manganeso en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	44
Gráfica 9. Concentraciones de Selenio en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	44
Gráfica 10. Concentraciones de Zinc en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	44
Gráfica 11. Concentraciones de Aluminio en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	49
Gráfica 12. Concentraciones de Arsenico en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	49
Gráfica 13. Concentraciones de Cadmio en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	49
Gráfica 14. Concentraciones de Litio en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	49
Gráfica 15. Concentraciones de Níquel en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	50
Gráfica 16. Concentraciones de Vanadio en suelos de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	50
Gráfica 17. Concentraciones de Calcio en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	56
Gráfica 18. Concentraciones de Fósforo en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	56

Gráfica 19. Concentraciones de Potasio en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	56
Gráfica 20. Concentraciones de Magnesio en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	56
Gráfica 21. Concentraciones de Aluminio en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	61
Gráfica 22. Concentraciones de Arsénico en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	61
Gráfica 23. Concentraciones de Cadmio en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	61
Gráfica 24. Concentraciones de Litio en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	61
Gráfica 25. Concentraciones de Níquel en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	61
Gráfica 26. Concentraciones de Vanadio en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	61
Gráfica 27. Concentraciones de Cobalto en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	67
Gráfica 28. Concentraciones de Cobre en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	67
Gráfica 29. Concentraciones de Hierro en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	67
Gráfica 30. Concentraciones de Manganeso en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	67
Gráfica 31. Concentraciones de Selenio en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	67
Gráfica 32. Concentraciones de Zinc en forrajes de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	67
Gráfica 33. Concentraciones de Calcio en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	74
Gráfica 34. Concentraciones de Fósforo en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	74
Gráfica 35. Concentraciones de Potasio en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	74
Gráfica 36. Concentraciones de Magnesio en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	74
Gráfica 37. Concentraciones de Cobalto en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	78
Gráfica 38. Concentraciones de Cobre en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	78
Gráfica 39. Concentraciones de Hierro en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	78
Gráfica 40. Concentraciones de Manganeso en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	78

Gráfica 41. Concentraciones de Selenio en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	79
Gráfica 42. Concentraciones de Zinc en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	79
Gráfica 43. Concentraciones de Aluminio en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	84
Gráfica 44. Concentraciones de Arsénico en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	84
Gráfica 45. Concentraciones de Cadmio en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	84
Gráfica 46. Concentraciones de Litio en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	84
Gráfica 47. Concentraciones de Níquel en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	85
Gráfica 48. Concentraciones de Vanadio en sangre de cabras de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña	85

1. Introducción

Los caprinos se han criado en climas áridos y semiáridos, principalmente en países en vías de desarrollo, prueba de ello es que 90 % del hato mundial caprino se produce bajo estas características. La mayor parte de los rebaños están conformados por razas autóctonas y su aprovechamiento se asocia a productores marginados. Son una especie que se adapta a una amplia variedad de climas, en sus hábitos alimenticios son capaces de consumir recursos forrajeros de mala calidad en condiciones ambientales en las que otras especies domésticas no sobrevivirían. Su capacidad de ramoneo y metabolismo de sustancias antinutricionales la hacen una excelente transformadora de forrajes no convencionales en carne. A nivel mundial, existen 921 millones de caprinos. Asia concentra un 60 %, le sigue África con un 35.93 %, Latinoamérica y el Caribe poseen un 23.08 %. Por país destaca la India con un 35.2 % seguido de China con un 29.3 %. México cuenta con 8.99 millones de caprinos aportando un 0.97 % al inventario mundial (FAO, 2010), ocupando el puesto 19. En 2010 se produjeron más de 5 millones de toneladas de carne de cabra en el mundo, México aportó el 0.85 % del total (SAGARPA, 2010).

En México, la producción se realiza tradicionalmente en sistemas extensivos, de traspatio, trashumantes y nómadas, utilizando agostaderos y pastizales nativos, sin algún manejo ecológico encaminado a hacer sustentable esta actividad. La característica frecuente en las áreas de alimentación del ganado es el sobrepastoreo, pues exceden la capacidad de carga animal provocando erosión y desertificación. En este sentido la cabra y su producción son directamente afectadas por la disponibilidad de nutrientes consumidos durante el pastoreo, pues depende exclusivamente de la cobertura vegetal. El 70 % de los caprinos se producen en regiones áridas y semiáridas en zonas rurales.

El estado de Oaxaca posee el segundo lugar de inventario caprino nacional, la región Mixteca, cuenta con el mayor número de animales. En esta región la alimentación de los rebaños se basa en el ramoneo de árboles y arbustivas, complementando, ocasionalmente, en épocas de estiaje con esquilmos agrícolas. Los minerales son de los nutrientes más limitantes y desconocidos por productores, que repercuten directamente en la productividad de las cabras, estos son esenciales

en diversas estructuras y funciones corporales contribuyendo a mejorar y conservar la salud en el rebaño (McDowell, 2003).

Los minerales en los forrajes están directamente relacionados con su concentración en el suelo y su disponibilidad depende de diversos factores entre los que destacan la precipitación pluvial, pH y materia orgánica. Existen diversos estudios sobre la importancia de macro y microelementos en la nutrición animal; se ha demostrado su importancia en el metabolismo, reproducción, además favorecen al sistema inmunológico, eliminación de radicales libres y formación de estructuras corporales. En los últimos años se han propuesto otros elementos conocidos como ultratraza, que pueden jugar un papel fisiológico o tóxico en los animales y el hombre, y sus efectos detrimentales en la producción cuando se encuentran deficientes en la ración. Entre estos minerales tenemos al Arsénico, Litio, Níquel, Vanadio, Aluminio. En México no existen reportes de su concentración en sangre de cabras y solo algunos en suelo y agua por su efecto tóxico (Arsénico) en humanos y animales. El presente trabajo se enfocó a determinar la concentración de macroelementos, microelementos y elementos ultratraza en suelo, plantas y sangre de cabras en pastoreo en dos regiones del estado de Oaxaca y su interrelación.

2. Revisión de literatura

La producción caprina en el mundo es un importante recurso económico, sobre todo para las familias de escasos recursos de países en vías de desarrollo. Su producción se caracteriza por ser diversificada. Esta especie se adapta y desarrolla en ambientes desérticos, tropicales, de montaña, etc. Los caprinos tienen capacidad de producir y aprovechar praderas y agostaderos en los que los bovinos y ovinos no prosperarían (en terrenos agrícolas abandonados, con suelo desnudo) obligando a los productores a extender el pastoreo a montañas y zonas en las que solo la cabra por su habilidad para trepar en rocas hace posible el aprovechamiento de los recursos forrajeros que otras especies rechazan (Pollot y Willson, 2009). Esta característica que poseen las cabras de subsistir en terrenos de poca vegetación les ha atribuido la mala fama de ser la causa del deterioro ecológico, cuando los árboles y arbustivas fueron talados para establecer potreros para bovinos, los cuales debido a un mal manejo (sobrepastoreo, compactación del suelo) agotaron los recursos forrajeros, dejando condiciones en las que solo las cabras pueden subsistir (Pollot y Willson, 2009).

Las cabras en el mundo representan un importante recurso social en muchas personas de zonas rurales. Esta especie es de fácil manejo, rústica y adaptable a diversos sistemas de manejo. Es una especie que ofrece ventajas para su producción, entre ellas destacan que es una especie en la que se requiere de poca inversión inicial (comparada con los bovinos), requiere menos espacio por animal, es una especie de fácil manejo, fértil y prolífica, con periodos de anestro cortos (Mellado, 1997). Se pueden obtener una amplia variedad de productos comerciales como son: cabritos, machos y hembras para reemplazo y abasto (carne magra), pieles, excrementos (fertilizantes orgánicos, biogás), pelo, leche y sus derivados por otro lado, con un buen manejo, pueden servir como control de malezas y de arbustos (Cantú, 2008) evitando incendios en bosques. En referencia al valor biológico de la leche, destaca su fácil digestión comparada con la leche de vaca, es por ello que se recomienda para niños convalecientes, adultos mayores y personas alérgicas a la leche de otras especies. Esta propiedad es atribuida a que contiene glóbulos de grasa pequeños y a sus diferentes tipos de caseína (Jimeno *et al.*, 2003)

Las cabras fueron introducidas a México con los españoles. Estos exploradores trajeron razas de cabras enfocadas a la producción cárnica. Entre las razas que llegaron a La Nueva España (México) se encuentran la Blanca Celtibérica, Castellana de Extremadura y Murciana (Cantú, 2008). Estas cabras fueron las que dieron origen a la raza criolla que actualmente conforma la mayor parte de los rebaños del país. En México la producción caprina se concentra mayormente en zonas áridas y semiáridas, destacando en su mayor número de animales la zona de la mixteca que abarca estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero. Entre estos estados que conforman la mixteca suman más de 3,130,000 caprinos en el año de 2012, aportando un 35.88% del inventario nacional (Figura 1. SIAP, 2014).

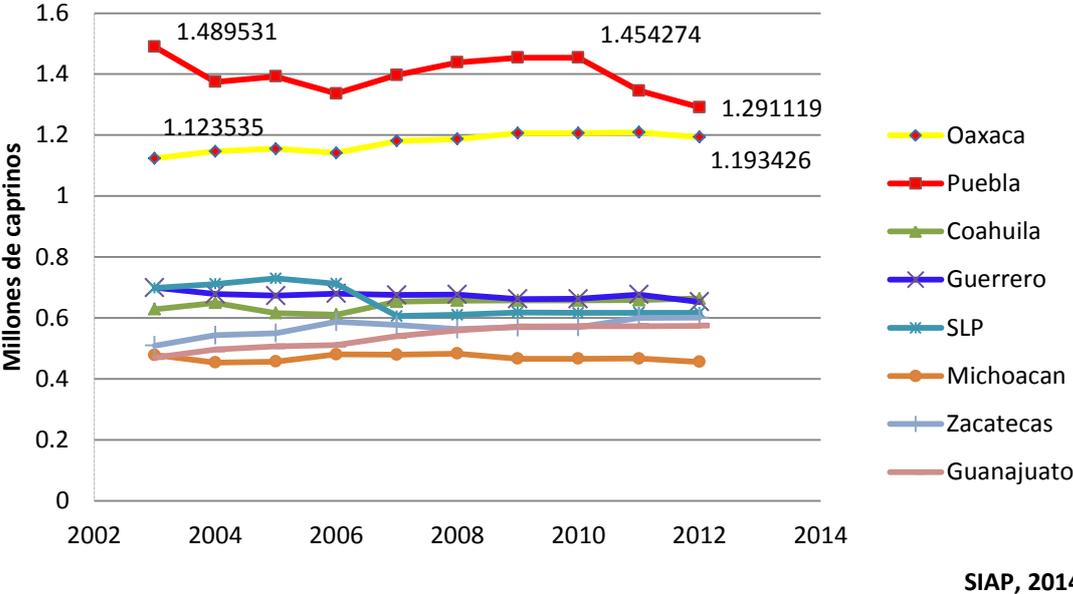


Figura 1. Estados de mayor inventario caprino en México

En el estado de Oaxaca la región Mixteca destaca por tener la mayor actividad caprina, seguida de la región de Valles Centrales. La caprinocultura se desarrolla principalmente con animales criollos, con fenotipos de raza Nubia, Murciana y Blanca Celtibérica. Existen pequeños rebaños muy localizados que se crían para la producción de leche y en ellas destacan razas como Saanen y Alpino Francés. A pesar de ser, la carne de cabra, netamente magra para el año 2005, el consumo per cápita de carne en México fue tan solo de 0.4 kg y destacando el consumo de carne a nivel nacional la de otras especies 26.3 kg de pollo, 15.3 kg de cerdo, 15.1 kg de

res, 1.9 kg de pavo y 0.8 kg de borrego (SAGARPA, 2010). La carne de cabra es la de menor importación nacional con solo un 2.1 %.

Las cabras son aprovechadas en sistemas de producción extensivos, semiintensivos e intensivos los cuales se clasifican de acuerdo al tipo de uso del suelo, al sistema de manejo y objetivo de producción.

2.1 Sistemas extensivos

En este sistema el pastoreo es el común denominador de la producción. En él las cabras aprovechan las hojas, ramas tiernas, rebrotes y frutos de árboles y arbustivas (ramoneo), así como, herbáceas y gramíneas nativas (Cantú, 2008).

Las plantas de ramoneo destacan en su dieta (69-89 %), la preferencia por hojas, tallos, yemas y ramas tiernas de árboles y arbustivas es muy marcada, en segundo término consumen herbáceas (11 %) y finalmente pastos 7 % (Ramírez *et al.*, 1991; Ramírez, 2009). Este comportamiento es atribuido a la disponibilidad de forrajes en el área de pastoreo. Por otro lado las cabras que han crecido bajo un sistema de pastoreo extensivo (trashumante) tienden a consumir en mayor proporción arbustivas (57.2 %), seguidas de herbáceas (40.5 %) y finalmente especies arbóreas [2.2 %] (Franco *et al.*, 2005).

La composición nutricional de los forrajes varía dependiendo de la composición botánica de la pradera, edad de la planta, parte consumida, del clima y del tipo de suelo en el que se desarrolla. En este sentido las arbustivas contienen proteínas en concentraciones suficientes para satisfacer los requerimientos de las cabras (Ramírez *et al.*, 1991). Los cambios estacionales afectan el desarrollo de las plantas, abundancia y características nutricionales. Baraza *et al.* (2008) mencionan que las cabras, en situaciones de escases de forraje, consumen plantas pobres nutritivamente y con abundantes compuestos tóxicos y antinutricionales. Esta situación se refleja directamente en la condición corporal de los caprinos, que impacta directamente en la economía del productor. En temporadas de estiaje los caprinos pierden peso, pues recorren más terreno en búsqueda de alimentos lo que les hace gastar energía y reducen hasta en 10 % el tiempo dedicado a comer (Baraza *et al.*, 2008), por otro lado ante la escases de alimento los agostaderos se

sobrepastorean situación que incrementa la erosión del suelo y reduce la capacidad de las plantas de regenerar su follaje.

En temporadas de estiaje es común apoyar la alimentación del ganado con forrajes fibrosos de mala calidad, por lo que el desempeño productivo de los animales se ve mermado, por el bajo aporte de nutrientes que muchas veces no alcanzan a cubrir ni las necesidades de mantenimiento. Existen investigaciones en las que se observó que cabras a las que se suplementó con minerales, son capaces de seleccionar forrajes con un mayor contenido de nitrógeno y un bajo contenido de fibra.

En las zonas semiáridas y áridas del país, en los que se han desarrollado animales rústicos, resistentes a enfermedades, prolíficos, con excelente habilidad materna, con producciones mínimas en condiciones de parasitosis, animales longevos, fértiles y que en algunos casos producen leche para consumo humano, aún con la limitante de alimentación (Mellado, 1997) y sin suplementos (minerales, proteicos o energéticos).

En estos sistemas de producción ofertar suplementos minerales es ocasional y muchas veces se limitan a aportar Sodio y Cloro en forma de sal común que se obtienen de salinas locales. Por lo que los animales dependen totalmente del aporte de minerales que consumen en el pastoreo y al seleccionar diferentes plantas en el agostadero y, la concentración de estos elementos está directamente influida por la concentración de estos minerales en el suelo y su disponibilidad, que es a su vez es afectada por condiciones de pH, materia orgánica (MO), interacción con otros elementos en el suelo y condiciones climáticas (Haenlein y Ramírez, 2006; Suttle, 2010), la concentración de minerales en los forrajes dependen de factores asociados a ellos mismos como estado fenológico, parte de la planta que es consumida (Suttle, 2010).

Cuando los minerales están en concentraciones inadecuadas en la dieta de los animales se pueden ver reducidas las capacidades de producción, reproducción, inmunidad e inclusive la capacidad para sobrevivir (NRC, 2007). Los forrajes son la principal fuente de minerales sobre todo para animales en pastoreo; sin embargo, el agua puede ser una fuente importante de estos, por otro lado el suelo sobre todo en temporada de lluvias al contaminar los forrajes constituye un aporte significativo de microelementos [Cobalto, Yodo, Hierro, Manganeso y Selenio] (NRC, 2007).

En México esta actividad se realiza en mayor medida por mano de obra familiar, participan niños y ancianos. Los pastores jóvenes en raras ocasiones tienen un nivel escolar elevado (la mayoría no termino el nivel primaria), en su mayoría desertan de la escuela debido a escasos recursos económicos viviendo de la caprinocultura y en muchas ocasiones resulta el único ingreso familiar.

2.2 Sistemas semiintensivos o semiestabulados

En el sistema de producción semiintensivo se combinan el pastoreo y la estabulación. Los productores pastorean las cabras durante el día y por la noche les complementan la alimentación ya sea con forraje de corte, granos, desperdicios de cosecha y/o complementos alimenticios. En este sistema se cuenta con instalaciones para proteger los animales de las lluvias, comederos, bebederos y se suplementa con sales minerales.

El objetivo de producción es leche y cabritos, dichos rubros del sistema son los que aportan mayores ingresos al productor. Secundariamente existen ingresos por venta de hembras de reemplazo, sementales y hembras de desecho.

La asesoría técnica especializada está ausente y el control sanitario en el rebaño es deficiente. El uso de tecnologías para el mejoramiento genético (selección, cruzamiento, inseminación artificial, trasplante de embriones) está ausente o se realiza bajo criterios del productor (experiencia) y en muchas ocasiones están mal dirigidos. Debido a falta de uso de registros productivos.

2.3 Sistemas intensivos

En este sistema de producción los animales se encuentran en una estabulación total, es un sistema de producción más costoso, el objetivo de producción es leche. La producción se realiza con cabras de razas especializadas (Saanen, Toggenburg, Alpina Francesa, La Mancha, Murciana-Granadina, entre otras) en las que se consiguen producciones de 700 – 1200 l/cabra/lactancia.

En los sistemas intensivos existe mayor infraestructura en instalaciones (corrales, comederos, bebederos, sala de ordeña, área para crianza artificial de cabrito), inversión en mejoramiento genético, sanidad, nutrición, asesoría técnica. En este sistema de producción se requiere de mano de obra capacitada todo ello

encaminado a obtener altos rendimientos y producciones (Jimeno *et al.*, 2003). El uso de registros productivos y reproductivos es una práctica obligada.

El manejo reproductivo se realiza con sementales de registro, se aprovechan tecnologías como la inseminación artificial, trasplante de embriones, sincronización de estros enfocados a obtener una producción constante de leche durante todo el año. Además en el manejo sanitario existen programas enfocados a la prevención de enfermedades, calendario de vacunación y desparasitación, prevención de mastitis. En este sistema intensivo la alimentación de la cabra puede alcanzar de un 55 hasta un 75 % de los costos de producción (Hadjipanayiotou y Morand-Fehr, 1991). Es de vital importancia tener alimento para las cabras durante todo el año, por lo que es común el uso de henificados, ensilados, grano y concentrados. Los ingresos son por venta de leche o sus derivados (queso, cajetas, mantequilla, dulces, etc), cabritos, hembras para reemplazos, hembras de desecho, machos para sementales, carne de cabritos procesada así como procesamiento de carnes.

2.4 Minerales

En el siglo XX ya se pensaba que 22 elementos de la tabla periódica eran esenciales para la nutrición animal. Estos minerales se dividen en macroelementos, por estar en mayor proporción en el organismo y son Calcio, Fósforo, Potasio, Sodio, Cloro, Magnesio y Azufre. Los microelementos, se encuentran en el organismo en concentraciones de partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb), son Hierro, Cobalto, Yodo, Zinc, Cobre, Manganeso, Selenio, Molibdeno, Cromo, Vanadio, Flúor, Sílice, Níquel, Arsénico y Titanio (Underwood, 1981). Existen además otros elementos estudiados en mayor medida por el efecto tóxico que causan sus excesos al organismo entre ellos tenemos al Plomo, Mercurio, Flúor, Molibdeno, Arsénico, Aluminio y Cadmio (NRC, 2005). Se han encontrado otros minerales en concentraciones variables en los tejidos y de los que se ha demostrado que mejoran el comportamiento productivo de los animales como el Aluminio, Boro, Cadmio, Litio, Plomo y Rubidio (Suttle, 2010).

La concentración mineral en los forrajes depende del pH del suelo y fertilidad; depende también del tipo de forraje, estado de madurez del forraje, época del año, clima, irrigación del cultivo y precipitación pluvial (NRC, 2005; Underwood y Suttle, 1999). En suelos ácidos las plantas no pueden absorber de manera adecuada

algunos elementos como Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio, Magnesio y Selenio. Por otro lado la acidez ($\text{pH} < 6$) mejora la disponibilidad de Hierro, Manganeso, Boro, Cobre y Zinc (NRC, 2007).

El pH influye en la movilidad de los cationes en el suelo, a pH moderadamente alto algunos metales se precipitan en forma de hidróxidos. En medios alcalinos se reincorporan nuevamente a la solución del suelo en forma de hidroxicomplejos (Figura 2).

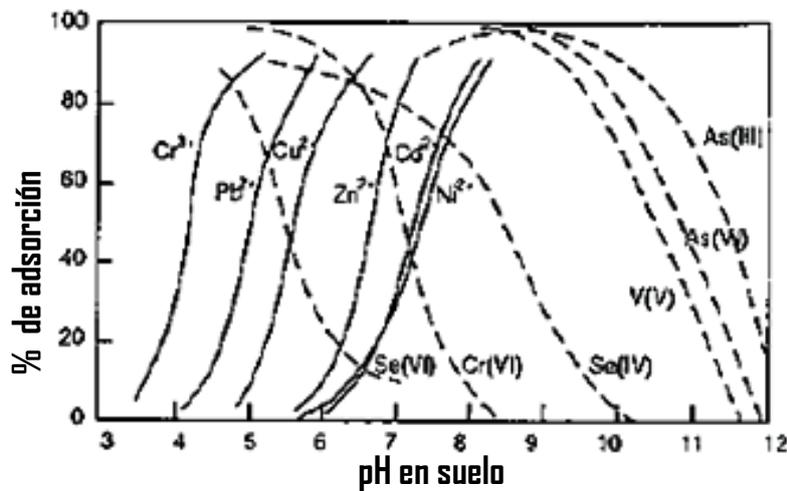


Figura 2. Efecto del pH en suelo sobre la solubilidad de algunos elementos químicos.

En suelos alcalinos se favorece la absorción de Selenio y Molibdeno pudiendo encontrarse excesos de estos elementos en algunos forrajes. En suelos con pH alcalino los forrajes pueden presentar deficiencias de Zinc, Cobre, Hierro, Boro y Manganeso que finalmente repercute en el estatus mineral de (NRC, 2005).

La concentración de los microelementos en las plantas tiene una correlación positiva con la concentración de estos en el suelo donde las plantas crecen. Por lo que no es de extrañarse que se presenten deficiencias o excesos debido a su concentración y disponibilidad; efecto que finalmente repercute en los animales. La concentración de los minerales en las plantas también depende de lo esencial que estos son para sus actividades metabólicas y fisiológicas, en este contexto Havlin *et al.* (2005) describe 14 elementos (Tabla 1) que son considerados esenciales para las plantas, en dicha lista podemos observar que el sodio y cobalto no son esenciales para todas las plantas en contraste con su importancia nutritiva en los animales.

Tabla 1. Clasificación de los minerales de importancia para forrajes

Macroelementos	Microelementos	Microelementos esenciales en algunas plantas
Nitrógeno (N)	Hierro (Fe)	Sodio (Na)
Fósforo (P)	Zinc (Zn)	Cobalto (Co)
Potasio (K)	Manganeso (Mg)	Vanadio (V)
Azufre (Z)	Cobre (Cu)	Silicio (Si)
Calcio (Ca)	Boro (B)	
Magnesio (Mg)	Cloro (Cl)	
Hidrogeno (H)	Molibdeno (Mo)	
Oxigeno (O)	Níquel (Ni)	
	Selenio (Se)	

Macroelementos

2.4.1 Calcio

El calcio (Ca) es el elemento más abundante del cuerpo y el principal de los componentes estructurales de huesos y dientes, en ellos se encuentra en forma de hidroxiapatita $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ (NRC, 2007). En la síntesis del hueso, en especial del colágeno, se requiere de Ca, así como, Fósforo, Hierro, Cobre, Manganeso; conjuntamente de Vitaminas A y D. En ocasiones en la síntesis ósea el Ca es sustituido por Magnesio y, el Flúor sustituye al grupo –OH (NRC, 2007).

El Ca desempeña funciones corporales como estructurales (huesos y dientes), transmisión de impulsos nerviosos, participa en la contracción de músculos, relajación y constricción de vasos sanguíneos, liberación hormonal (NRC, 2007), es un cofactor en la cascada de coagulación (Suttle, 2010). En su regulación corporal participan la paratohormona y el calcitriol.

Las concentraciones normales en plasma de Ca se encuentran entre 8 - 12 mg/ dL, el Ca ionizado se encuentra en promedio entre 4 – 5 mg/dL (NRC, 2007). Mientras que Underwood (1983) considera una concentración normal de Ca en 4-6 mg/dL.

Los forrajes de suelos arenosos y/o ácidos absorben menos Ca. Los suelos derivados de roca caliza pueden contener entre 3 y 25 % de Ca/kg de MS

(Whitehead, 2000). Suelos de clima templado en promedio 4,400 ppm y un rango de 7,700 – 250,000 ppm de Ca (Whitehead, 2000). Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) reportan como nivel crítico de Ca en suelos 900 ppm. De las plantas las hojas contienen mayor cantidad de Ca, los tallos regularmente pueden contener hasta un 50 % menos. Las leguminosas contienen más Ca que las gramíneas, las primeras en promedio pueden contener concentraciones de 14.1g/kg^{-1} MS y las gramíneas en promedio contienen 3.7g/kg^{-1} MS, para zonas templadas (Suttle, 2010). Los granos y cereales son deficientes en este metal pues, en promedio, no rebasan 1.5 g de Ca/kg de MS. En los forrajes se consideran niveles marginales de Ca 3-4 g/kg de MS (Sowande *et al.*, 2008; Suttle, 2010). La madurez de los forrajes reduce esa concentración, por el contrario una fertilización con Nitrógeno la incrementan. En forrajes conservados adecuadamente contienen mayor proporción de Calcio que los forrajes maduros. Las cabras por su comportamiento selectivo en el pastoreo incrementan las concentraciones de este elemento por bocado (Meschy, 2000). Por otro lado las vacas que pastorean en suelos ácidos, suelos arenosos y/o suelos de turba en zonas húmedas, la concentración de Ca no rebasa los 2 g/kg de MS, se pueden presentar deficiencias de este elemento (Underwood, 1983; Suttle, 2010).

La absorción de Calcio (Ca) se puede reducir por la formación de compuestos insolubles con oxalatos y fitatos, aunque estos últimos pueden ser destruidos por bacterias ruminales. Además un exceso de Fósforo en la ración y una deficiencia de Vitamina D3 reducen su absorción. Las necesidades de Ca se ven modificadas por las características productivas. Los animales de rápido crecimiento, demandan mayor aporte de Ca así como, animales de razas lecheras, animales que consumen dietas altas en energía, animales que no tienen acceso a asoleaderos (NRC, 2007). En cabras adultas se reduce el requerimiento de Ca, excepto las hembras en gestación siendo mayor en el último tercio de la gestación (sobre todo en caso de fetos múltiples), hembras gestantes que aún no completan su etapa de desarrollo y cabras lecheras (Suttle, 2010).

2.4.2 Fósforo

El Fósforo (P) se encuentra en los suelos en forma de apatita $3[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]\text{CaX}_2$. Donde “X” puede ser un carbonato, un fluoruro, un cloruro o un hidróxido), fosfatos de Hierro o fosfatos de Aluminio (Whitehead, 2000). En suelos neutrales y calcáreos

el P se precipita con Ca, mientras que, en los suelos ácidos lo hace con Fe y Al, lo que hace al P insoluble. Por otro lado la materia orgánica (MO) en el suelo puede incrementar su disponibilidad, ya que al descomponerse se liberan ácidos orgánicos que hacen solubles a los fosfatos de Ca y en suelos ácidos forma complejos con el Fe y Al liberando al P (Whitehead, 2000). Las plantas pueden secretar ácidos como el cítrico, málico y oxálico para solubilizar el P y el último ácido lo hace mejor a pH alcalinos. La máxima solubilidad del P se lleva a cabo en los pH ligeramente ácidos y neutros (pH 6 – 7). La concentración de P en suelos de regiones templadas oscila entre 400 y 4000 ppm en MS (Whitehead, 2000).

La deficiencia de P es un problema común en suelos, misma que se traduce en una pobre concentración en los forrajes. Por esta razón la carencia de P es un estado predominante de los rumiantes en pastoreo (Underwood, 1983; NRC, 2007) especialmente en suelos con excesos de Ca donde esta condición se maximiza (NRC, 2007). Por otro lado excesos de P son causa de contaminación de suelos y lagos (eutroficación) (NRC, 2007).

La concentración de P varía dependiendo del tipo de planta, parte de la planta, etapa fenológica, así como, el suelo donde crecen (en suelos con pH cercano al neutro hay una mejor absorción), el clima y grado de fertilización (NRC, 2007; Suttle, 2010). Las plantas de clima templado contienen más P que las plantas tropicales. En las temporadas de estiaje y forrajes lignificados se reduce la concentración de P (McDowell, 1985). Por el contrario los brotes tiernos concentran más minerales. El P en los cereales es abundante y deficiente en leguminosas, sin embargo parte de ese mineral se encuentra en forma de fitatos (unido a Calcio, Magnesio y Potasio) que lo hacen indisponible (NRC, 2007; Suttle, 2010). Los rumiantes se benefician de fitasas bacterianas que hidrolizan los fitatos y liberan parte del fósforo (Suttle, 2010). Las cabras aprovechan mejor este mineral (70- 75%) gracias a que son más eficientes al reciclarlo en la saliva (Meschy, 2000).

Se considera una concentración crítica de P en los forrajes de 2.5 g/kg de MS (Sowande *et al.*, 2008;), misma que en cabras es deficiente (Haenlein y Anke, 2011) lo normal para esta especie son 4 g de P/kg de MS (Meschy, 2000).

El P es considerado como el elemento con más funciones corporales, participa como componente estructural de huesos y dientes, de ácidos nucleicos, junto a con el Na,

Cl y K mantienen la presión osmótica, participa en la regulación del estado ácido-base corporal, es vital para el uso y transferencia de energía, es componente estructural de fosfolípidos, participa en la síntesis de aminoácidos y proteínas, además participa en la regulación del apetito (Underwood, 1983; NRC, 2007). El P se requiere para la síntesis de microorganismos ruminales, por ello su deficiencia puede limitar la digestibilidad de la celulosa (Whitehead, 2000). Underwood (1983) asevera que la concentración normal de P inorgánico en plasma es de 6-8 mg/dL para animales jóvenes y de 4-6 mg/dL en adultos. Por su parte Whitehead (2000) reporta en la sangre el contenido de 350 – 450mg de P/L y en animales con deficiencias graves de éste elemento se hallan valores en suero sanguíneo de 1-2 mg/dL.

En la deficiencia de P hay signos como pica (alotriofagia), que se manifiesta como osteofagia o sarcófagia (Underwood, 1983, NRC, 2007); estros irregulares o ausencia de ellos, menor tasa de concepción, aumento de días abiertos (Underwood, 1983), incremento del índice de abortos (Mellado y Pastor, 2006), en cabras deficientes en este metal hay reducción en la tasa de concepción, bajo peso al nacimiento, disminución del consumo de alimento y menor producción láctea y una alta mortalidad de cabritos (Haenlein y Anke, 2011); en huesos largos hay deformaciones y/o fracturas, cojeras, inflamación y dolor articular, deformación de dientes y mandíbulas en ovejas, que puede llevar a los animales a morir por inanición; engrosamiento de la articulación costocondral de animales raquíuticos (Underwood, 1983). En cabras con una ración deficiente de P (2 g/kg de MS) se observó 69 % de mortalidad en adultos y 62 % en cabritos, asociado a problemas de malnutrición (Haenlein y Anke, 2011).

2.4.3 Potasio

El Potasio (K) es el tercer mineral en abundancia en el cuerpo y el principal catión a nivel intracelular, su concentración es alrededor de 150 mM/L (NRC, 2007) 100 – 160 mmol/L (Suttle, 2010). Su función principal es mantener el potencial de membrana, regulación corporal ácido – base (Underwood y Suttle, 2001; Suttle, 2010), por acción de la bomba Na-K ATPasa y a través de ella participa en la conducción nerviosa, contracción muscular, transporte de fluidos, liberación

hormonal y desarrollo embrionario. El K es un cofactor de la enzima Piruvato Kinasa (NRC, 2007).

Su absorción se lleva a cabo en rumen (50 %), retículo, omaso y en intestino delgado, se excreta principalmente vía renal (NRC, 2007; Suttle, 2010). Su concentración en plasma sanguíneo oscila entre 150 y 200 mg/L.

No existe un órgano que almacene este elemento, es por ello se debe suplementar diariamente. De forma natural las dietas lo contienen en cantidades adecuadas para los rumiantes (NRC, 2007). Sin embargo las dietas de finalización (altas en grano y con urea) y/o bajas en forrajes pueden ser deficientes en K. La concentración de Potasio en los forrajes disminuye conforme la planta se lignifica (NRC, 2007; Suttle 2010). En los animales el estrés, acidosis y diarrea pueden generar hipopotasemia (Suttle, 2010).

La concentración promedio en granos oscila entre 0.32 y 0.50 % de K (NRC, 2007; Underwood y Suttle 2001). El AFRC (1997) propone para cabras un requerimiento de 5 g de K/kg de MS y para cabritos de 8 g de K/kg de MS. La NRC, (2007) reporta que una concentración de 12 g de K/kg de MS puede ser benéfica para las cabras, a pesar que a dicha concentración el K interfiere con la absorción de Mg y Ca. Un exceso de K en sangre puede causar falla cardíaca y muerte (Suttle, 2010). La NRC (2007) propone un máximo tolerable de 2 % en la dieta con base a MS. Al respecto Underwood y Suttle (2001) argumentan que los forrajes para una máxima producción requieren de una fertilización que les aporte de 2 – 3 % de K, pudiendo ocasionar intoxicación o desencadenar un problema de hipomagnesemia (tetania de los pastos) o hipocalcemia. Underwood (1983) reporta que una fertilización de K en el suelo reduce la concentración de Magnesio hasta en un 50 % en los forrajes.

La deficiencia de K ocasiona reducción del apetito, crecimiento lento, marcha envarada, rigidez muscular, acidosis intracelular, alteración del metabolismo de las proteínas (Underwood, 1983, Underwood y Suttle 2001), en vacas con una ración deficiente en K se observó anorexia, pica, reducción en la producción láctea, incremento del hematocrito (Underwood y Suttle, 2001).

2.4.4 Magnesio

El Magnesio (Mg) se encuentra ampliamente distribuido en los tejidos corporales, 70 % del total se encuentra en los huesos (Underwood, 1983) 29 % intracelular y 1 % en fluidos extracelulares (NRC, 2007). Es componente estructural de huesos, membranas celulares y cromosomas (NRC, 2007). Cataliza una amplia gama de enzimas, facilita la unión enzima-sustrato, y es de vital importancia en la síntesis de lípidos y carbohidratos (NRC, 2007). Participa en la fosforilación oxidativa, oxidación de piruvato y en la conversión de α -cetoglutarato a succinil CoA (Suttle, 2010). Cataliza a las enzimas fosfatasa alcalina, exoquinasa, desoxirribonucleasa. Los iones de Mg tienen acción en la actividad neuromuscular y su deficiencia produce tetania (Underwood, 1983). El Mg se requiere para el transporte de Ca y K a través de las membranas celulares, de esta manera afecta la conducción de impulsos nerviosos y la contracción muscular (NRC, 2007). Se encuentra en los eritrocitos y su deficiencia altera la fluidez de la membrana, además, en rumiantes su deficiencia reduce la actividad celulolítica (Suttle, 2010).

La absorción de Mg es alterada por niveles altos de Ca y P en la dieta. Las gramíneas tiernas y aquellas fertilizadas con altas concentraciones de N y K reducen la concentración de Mg/ kg MS (Underwood, 1983). Las leguminosas regularmente contienen más Mg (2.6 – 2.8 g Mg/kg de MS) que las gramíneas (< 2 g de Mg/kg de MS) aun cuando crecen en las mismas condiciones (Suttle, 2010). Los forrajes conservados regularmente concentran más Mg que los forrajes frescos (Suttle, 2010). Los cereales comúnmente tienen concentraciones de Mg de 1.1 – 1.3 g/kg de MS.

El Potasio se absorbe principalmente en retículo y rumen, un pH elevado en estos compartimentos reducen su absorción, por acción de la concentración de amoníaco (Underwood, 1983). Una concentración elevada de ácidos grasos insaturados forman compuestos insolubles con Mg en rumen (NRC, 2007). Por otro lado pH inferiores a 6.5 favorecen su solubilidad y absorción (NRC, 2007). Cuando los forrajes se contaminan con suelo se incrementa la concentración de Aluminio en la dieta que reduce la absorción de Mg (NRC, 2007).

Las necesidades de Mg varían entre animales debido a la edad, nivel de crecimiento y producción láctea. La NRC (2007) propone que para animales en crecimiento la

dieta debe cubrir el 0.12 % de éste elemento, al final de la gestación 0.15 % y al inicio de la lactancia 0.18 %. Animales alimentados en praderas fertilizadas con N y K se debe incrementar el contenido de Mg en 0.2 %. El valor normal promedio de Mg en sangre es de 1.8 – 3.2 mg/dL (Underwood, 1983) 1.8- 3.5 mg/dL (NRC, 2007), 2.3mg/L (Suttle, 2010), y la deficiencia de Mg se presenta con valores séricos inferiores a 1mg/dL (Underwood, 1983) entre 1 y 1.8mg/dL (NRC, 2007)

La deficiencia de Mg ocasiona la tetania de los pastos en vacas. Este trastorno se presenta en casos de sistemas de producción con elevada producción láctea, animales de rápido crecimiento o al alimentarlos con pastos de rápido crecimiento (Underwood, 1983), y/o en estrés por transporte. Otras manifestaciones de su deficiencia son retraso en el crecimiento, hiperirritabilidad, vasodilatación periférica, anorexia, incoordinación y convulsiones musculares, si no se atiende la deficiencia el animal puede caer en estado comatoso y finalmente morir (Underwood, 1983). La mortalidad en algunos rebaños puede alcanzar de 30 % o más. En este trastorno se asocia con calcificación en riñones, descenso de la presión sanguínea. El inicio de la enfermedad se caracteriza por temblores en músculos de cabeza, tambaleo al caminar, a las pocas horas excitación intensa seguida de convulsiones, ataxia, rechinado de dientes, y si no se atiende el animal finalmente muere durante las convulsiones o bien entra en estado de coma y muere. En cabras un exceso de Mg puede causar urolitiasis (NRC, 2007).

2.4.5 Hierro

El Hierro (Fe) es el microelemento más abundante en el cuerpo, 60 % se encuentra en forma de hemoglobina y mioglobina, el grupo hemo de la hemoglobina contiene cuatro átomos de hierro. El Hierro forma parte del grupo de enzimas llamadas citocromooxidasas (a, b y c) necesarias en la en la cadena de transferencia de electrones; además activa la enzima succinato deshidrogenasa (NRC, 2007; Suttle, 2010), participa en la eliminación de radicales libres en forma de peroxidasas y catalasas (Suttle, 2010). Forma parte de diversas hemoproteínas como lactoferrina. Activa las enzimas hidroxilasas necesarias en la síntesis de tejido conectivo (NRC, 2007). Se almacena principalmente en el hígado y en intestino en forma de ferritina y hemosiderina (Underwood, 1983).

El Fe se encuentra en las rocas ígneas en forma férrica y ferrosa, es retenido en los suelos en forma de hidruros y óxidos férricos, esta forma de Hierro es insoluble a pH neutro o alcalinos mientras que los hidróxidos de Hierro son solubles a pH neutro y susceptibles de ser lixiviados (Whitehead, 2000). La deficiencia de Fe en los forrajes se ha asociado con suelos calcáreos, pH alcalinos, suelos con excesiva aireación o de alto contenido en materia orgánica (MO). Los suelos ácidos favorecen la absorción de Fe en las raíces, en especial en suelos de coloración rojiza donde los forrajes pueden contener hasta 2500 ppm de este elemento (NRC, 2007). Éste organismo (NRC) afirma que concentraciones de 549 – 990 mg/kg de Fe en los forrajes interfiere con la absorción de Cobre pudiendo causar su deficiencia (NRC, 2007).

En los forrajes existe una variación estacional en la concentración de Hierro. La mayoría de granos de cereales lo contienen en concentraciones entre 30 y 60 ppm. Las semillas de leguminosas pueden contener valores más elevados, 100 – 200 ppm (Suttle, 2010). Underwood (1983) reporta concentraciones promedio de este elemento en gramíneas de 264 ppm, en leguminosas de 306 ppm y en herbáceas de 358 ppm. Valores bajos de 90 – 110 ppm se han reportado en tréboles. En suelos arenosos pueden encontrarse valores tan bajos en forrajes como 30 ppm o aún menores (Suttle, 2010). Suttle (2000) argumenta que no se ha reportado anemia por deficiencia de Fe en animales en pastoreo, y lo atribuye a una elevada concentración de este elemento en los forrajes y a una contaminación por suelo en los mismos (Underwood, 1983). Por otro lado el confinamiento de los animales, las parasitosis y dietas prolongadas a base de leche (8-10 semanas), así como el uso de nitrógeno no proteínico (NNP) y dietas bajas en forraje pueden desencadenar su deficiencia (Suttle, 2010; Underwood y Suttle, 2001).

La absorción de Hierro se lleva a cabo principalmente en duodeno y es afectada negativamente por un exceso de Ca, Cu, Mn, Zn, Co, Cd, Pb (Underwood 1983), fosfatos, fitatos y polifenoles (Suttle, 2010). Se absorbe mejor en animales jóvenes, animales con anemia ferropriva, animales gestantes, o en presencia de Vitamina C, citrato y lactosa (Suttle, 2010; Underwood, 1983). Estos últimos favorecen la absorción de Hierro en animales lactantes, efecto que en cabritos evita la aparición de anemia (Suttle, 2010).

La NRC (2007) establece que los requerimientos de Fe en las cabras son mayores debido a parásitosis y refiere que la dieta debe contener entre 30 y 100 mg/kg en MS de Fe, la concentración mayor es para animales en crecimiento, mientras que los animales adultos el requerimiento se establece entre 30 y 35 ppm. En razas de producción de mohair y pelo se debe adicionar 5 ppm, (NRC, 2007). En un estudio con ovinos en el que la dieta contenía entre 30 y 50 ppm de Fe Underwood y Suttle (2001) reporta valores de éste elemento en suero sanguíneo de 1.62 mg/L (29 $\mu\text{mol L}^{-1}$), afirmando que éste valor es el margen para prevenir la aparición de una anemia ferropriva.

Una deficiencia prolongada de Fe causa pérdida del apetito, retraso en el crecimiento, letargia, mucosas pálidas, incremento de la frecuencia respiratoria, y en caso de anemia severa sobreviene la muerte. La anemia es de tipo microcítica hipocrómica (NRC, 2007; Suttle, 2010). También la carencia de Hierro se asocia a una reducción en la respuesta inmune del organismo (Underwood, 1983). A la necropsia se puede encontrar hipertrofia cardíaca y exceso de fluido en pericardio, así como, edema pulmonar (Suttle, 2010).

2.4.6 Manganese

El Manganese (Mn) es el quinto elemento más abundante en la tierra, es necesario para un correcto desarrollo de huesos y cartílagos (glicosiltransferasa), en procesos reproductivos; interfiere también en la inmunidad, activa una amplia gama de metaloenzimas [piruvato carboxilasa], y diversas enzimas [quinasas, hidrolasas, transferasas y descarboxilasas] (Underwood 1983), forma parte de la superóxido dismutasa (MnSOD) y en músculo cardíaco protege de los daños causados por ácidos grasos poliinsaturados; interfiere, además, en la síntesis de protrombina (NRC, 2007; Suttle, 2010).

Los suelos generalmente contienen entre 300 – 1100 mg de Mn/Kg MS (Suttle, 2010) suelos de climas templados de 50–500 ppm y de 100–4000 ppm (Whitehead, 2000), su disponibilidad se mejora a pH ácido (Suttle, 2010). En el suelo el Mn tiene 3 estados de oxidación Mn^{2+} , Mn^{3+} y Mn^{4+} . Sin embargo solo Mn^{2+} es estable en solución, los otros forman óxidos e hidróxidos insolubles. En suelos con pH >7 el Mn^{2+} se hace insoluble en forma de óxidos e (Whitehead, 2000). Las deficiencias en animales en pastoreo son más probables en suelos alcalinos, o animales

alimentados con ensilaje de maíz. Un exceso de Hierro en la dieta también predispone a su deficiencia (Suttle, 2010).

En ensilajes de maíz se han reportado valores bajos (14 -22 mg de Mn/kg de MS), mientras que para especies como *Lupinus albus* se pueden encontrar concentraciones de 817 – 3397 ppm (Suttle, 2010). En forrajes, valores elevados como 86 ppm (NRC, 2007). En pastos de Nuevo León México se encontraron valores de Mn de 54–148 mg/kg de MS (Ramírez *et al.*, 2004). En los pastos la concentración crítica de Mn es de 20 mg/Kg de MS (Whitehead, 2000). En los granos es abundante en el pericarpio, por lo que el salvado es una fuente importante de Mn. Excesos de Mn pueden incrementar los problemas de una deficiencia de Cobre. Por otro lado su absorción se ve disminuida por excesos de Ca, P, Fe y K (Underwood, 1983).

En ovinos valores de 2 µg/L en plasma o menores indican deficiencia de Mn. En plasma de bovinos se han reportado valores de 0.016- 0.02mg de Mn/L. Suttle (2010) reporta en sangre completa de ovinos 0.02 mg/L como valor normal y 0.012mg/L o un valor cercano a este tienen una respuesta positiva a la suplementación con Mn. Por su parte Haenlein y Anke (2011) no encontraron diferencias significativas en el contenido de Mn en suero de cabras alimentadas con una dieta normal (65 ppm de Mn) y una dieta deficiente. En las primeras el valor en suero fue de 0.09 ± 0.06 y las deficientes de 0.08 ± 0.03 mg de Mn/L indicando que el suero sanguíneo no es muy confiable para la detección de una deficiencia de este metal, sin embargo registraron efectos significativos en la concentración de este elemento en hígado, riñón, músculo cardíaco, pelo y bazo.

El Mn puede formar complejos insolubles con fitatos y fibra. En cabras Suttle (2000) asevera que una ración con 20 mg de Mn /kg de MS es suficiente para mantener un adecuado crecimiento, sin embargo afirma que se requieren 100 mg/kg de MS para obtener un mejor comportamiento reproductivo.

En todas las especies domesticas la deficiencia de Mn causa retraso en el crecimiento. En cabritos recién nacidos hay una reducción de depósitos grasos (Suttle, 2010), también existe la hipótesis de que su deficiencia inhibe la síntesis de colesterol, por lo tanto de hormonas esteroideas, causando infertilidad (Suttle, 2010). En ovinos con deficiencia de este elemento se presentó bajo desarrollo testicular por

influencia de una deficiencia hormonal. En hembras hay reducción o ausencia en la manifestación de estro y bajas tasas de concepción, así como mayor número de servicios por concepción (Underwood, 1983; Suttle, 2010). En ovinos la deficiencia se manifiesta por incapacidad para mantenerse de pie, dolor articular; en cabras se han reportado malformaciones en las extremidades, exóstosis de la articulación tarsiana (Underwood, 1983; Suttle, 2010), falta de equilibrio (defectos en oído interno) y ataxia (daño en la función vestibular) y, en bovinos al nacimiento se documentaron inflamación articular y braquignatismo (Suttle 2010).

2.4.7 Selenio

El Selenio (Se) es un mineral que se conoció en primer lugar por sus efectos tóxicos, y se reportan problemas en cascos de caballos en china desde 1295 (Miller 1979; NRC, 2007), antes que sus efectos por deficiencia. Es componente estructural de más de 30 selenoproteínas, que protegen al cuerpo del daño provocado por radicales libres (glutación peroxidasa, peroxidasa y reductasa tiroideas, deiodinasas); también es componente de enzimas como la desionidasa, selenoproteínas P y W. Además está relacionado con la respuesta inmune, así como en procesos reproductivos y en la producción y supervivencia animal (McDowell, 1997).

La concentración de Se en los suelos depende de: la naturaleza del suelo (origen sedimentario); pendiente del suelo y precipitación, hay una menor concentración en suelos de mayor pendiente. Por otro lado tienden a acumular mayor proporción de Se suelos de fondos de pendientes, suelos mal drenados, secos, de textura fina y con abundante materia orgánica (Seoáñez, 1998). Éste elemento en el suelo es poco soluble, siendo disponibles sólo los selenatos y los compuestos orgánicos. Un exceso de S reduce su absorción en las plantas (Ramírez- Bribiesca *et al.*, 2001). La fertilización y aireación que favorecen un crecimiento rápido de forrajes, reducen la concentración de Se en el suelo (Wichtel, 1998).

En suelos concentraciones de Se menores a 0.1 ppm (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001,) o < 0.5 ppm (Tortora, 2010; Wichtel, 1998) y menores a 0.1 ppm en plantas son consideradas insuficientes para prevenir la aparición de signos de deficiencia (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001, Serra *et al.*, 1996). La NRC (2007) menciona que concentraciones en suelo inferiores a 0.5 ppm desencadenan deficiencias de Se y se acentúan con excesos de S, Ca y Fe (Hefnawy y Tortora, 2010) éstos mismos

elementos en la dieta, además de nitratos y ácidos grasos poliinsaturados reducen su disponibilidad (Hefnawy y Tortora, 2010). Además la conversión del Se a selenuros, y el secuestro de Se por las bacterias ruminales, que lo incorporan a sus proteínas estructurales, lo hacen indisponible (Hefnawy y Tortora, 2010). Los forrajes en los trópicos comúnmente son deficientes en selenio. Serra *et al.*, (1996) reportan concentraciones en forrajes deficientes de 0.01 y 0.035 mg de Se/kg de MS, y Wichtel (1998) reporta concentraciones de 0.005-0.07 ppm aseverando que estas concentraciones reducen en temporadas de mayor crecimiento de forrajes.

En las plantas el Selenio se encuentra en mayor proporción en forma de selenometionina (Hefnawy y Tortora, 2010). El selenio se absorbe en duodeno y es transportado a hígado por selenoproteínas, en el organismo se almacena principalmente en forma de selenocisteína (Wichtel, 1998). Las heces son la principal vía de excreción, en menor medida por respiración, micción, vía láctea y vía placentaria (Wichtel, 1998).

En sangre el valor crítico es de 20 µg/L (0.02 mg/L). En suero sanguíneo la concentración normal es 0.1 ppm y el valor crítico 0.03 ppm (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001).

En la dieta 0.04 mg de Se/kg de MS se considera deficiente y 0.05 mg/kg de MS se considera adecuado (Haenlein y Anke, 2011). Ramírez-Bribiesca *et al.* (2001) reportan un valor crítico de 0.1 ppm en forrajes.

La deficiencia de Selenio y Vitamina E están relacionadas con el desarrollo de varios tipos de enfermedades en los rumiantes: Distrofia muscular nutricional o enfermedad del músculo blanco y debilidad de músculos estriados y cardíacos, muerte súbita en neonatos (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001), así como, muerte por debilidad, incapacidad de los neonatos para alimentarse y nula producción láctea de las cabras (Ramírez- Bribiesca *et al.*, 2001); reducción de la eficiencia alimenticia, ganancia diaria de peso, menor producción de lana y leche (Hefnawy y Tortora, 2010) mastitis subclínica [en hatos hay mayor conteo de células somáticas] (Wichtel, 1998); estros irregulares, reducción de la tasa de concepción, retención placentaria, abortos en el último tercio de la gestación, metritis, quistes ováricos en vacas, animales nacidos muertos, animales débiles al nacimiento; reducción de la respuesta inmune (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001).

2.4.8 Cobre

El Cobre (Cu) es un elemento esencial en el organismo, forma parte de una amplia gama de complejos enzimáticos, entre las que se destacan citocromo oxidasa, asociada a la síntesis de energía; lisil oxidasa, relacionada con la síntesis de colágeno y elastina; dopamino β -monooxigenasa y monoamino oxigenasa, que intervienen en la síntesis de neurotransmisores (NRC 2007). Es componente de la ceruloplasmina, proteína encargada de convertir en hígado el hierro de la forma ferrosa a férrica para incorporarlo a la hemoglobina en sangre y en consecuencia se relaciona en la prevención de anemia (NRC 2007); además desempeña funciones en la síntesis y reparación de las vainas de mielina, en el sistema nervioso; a través de la tirosinasa el Cu interactúa en la síntesis de melanina; cumple funciones como antioxidante; participa en el correcto desempeño del sistema inmunológico y mejora la ganancia de peso al eficientizar la digestibilidad de las proteínas por hidrólisis de péptidos al activar la pepsina (Underwood, 1983). En este sentido Solaiman *et al.* (2001) reportan mejoras en la ganancia diaria de peso (28% más) en cabras Nubia suplementadas con 100- 150 mg de Cu/día y Solaiman *et al.* (2007) cabritos cruza Boer x Español al suplementar 103 ppm de Cu en la ración.

Las cabras almacenan 10 veces menos Cu en hígado que las ovejas, por lo que toleran mayores concentraciones de Cu en la dieta (Meschy, 2000). Haenlein y Anke (2011) sugieren que mientras una cabra con 10 ppm de Cu de hígado en MS no muestra signos de deficiencia, en un ovino esta misma concentración indica una deficiencia severa. Es por esta capacidad de los caprinos, que Meschy (2000) sugiere tener especial cuidado al alimentar cabras gestantes, pues al nacimiento los cabritos son más susceptibles a padecer Swayback o ataxia especialmente en casos de partos múltiples.

Elementos como Fe, Mo, S, Zn, Ca causan deficiencias de Cu en los caprinos por competencia en los sitios de absorción o por la formación de compuestos insolubles (Haenlein y Anke, 2011). En rumen el Cu forma compuestos llamados tiomolibdatos con S y Mo que reducen su. Ahenlein y Anke (2011) argumentan que el efecto detrimental del S es mayor cuando éste elemento se incorpora en la ración en forma de metionina. Por lo que Vázquez-Armijo *et al.* (2011) sugieren establecer una

relación Cu:Mo de 3:1–6:1 para evitar la formación de éstos compuestos. Anke *et al.* (1999) reportaron que una deficiencia de Cd en la ración (< 15mg/kg de MS) redujo la concentración de cobre en leche de 4.5–2.1 ppm. En animales en pastoreo los altos consumos de S y Mo, por contaminación del forraje con suelo, son la principal causa de deficiencia de cobre (Mayland, 1986). En el forraje las concentraciones de Cu varían desde 4 – 15 ppm, y es más disponible el Cu de forrajes henificados que el de forrajes frescos o ensilados (Mayland, 1986, Underwood, 1983). La deficiencia de Cu se presenta asociada con deficiencias de Co y se relaciona al consumo de forrajes que crecen en terrenos con suelos costeros y arenosos y calcáreos o podsólicos de origen granítico. En los forrajes las gramíneas forrajeras presentan una concentración menor de Cu al compararlas con leguminosas que se cultivan bajo las mismas condiciones (Underwood, 1983).

En ovinos la deficiencia de Cu se asocia con retraso o ausencia de estros, prolongado retorno a estro postparto, mayor número de servicios para concebir; ausencia de implantación embrionaria, muerte fetal, abortos, fetos momificados, así como focos necróticos y hemorragias en placenta (Vázquez-Armijo *et al.*, 2011). En cabras alimentadas por periodos prolongados de carencia de Cu muestran comportamientos ninfomanos. En machos se desarrolla ausencia de libido y reducción de la espermatogénesis (Suttle, 2010).

En el plasma de las cabras las concentraciones de Cu se encuentran entre 0.9–1.39 mg/L (NRC, 2007). En sangre completa Underwood (1983) reporta para las cabras concentraciones de Cu de 0.6-1.5 mg/L, y resalta que la concentración varía en función de la edad, gestación y enfermedades, además de la concentración de Mo y S en la dieta. Por otro lado concentraciones persistentes de 0.5 mg/L de sangre son indicativos de una deficiencia de éste metal en ovinos y bovinos (Underwood, 1983). En rumiantes jóvenes y neonatos existe una absorción de cobre en un rango de 70-90 % y reduciéndose hasta un 1.4-12 % en animales adultos; esto depende de la concentración de Mo, Fe, F1, Ca y Zn en la dieta (Underwood y Suttle, 2009; NRC, 2007). En las cabras las necesidades de Cu establecidas por Meschy (2000) son de 8-10 mg/kg de dieta en MS. Sin embargo el AFRC (1997) propone concentraciones de hasta 20 mg de Cu/kg en MS y el NRC (2007) sugiere incrementar la concentración de Cobre hasta en 25 mg/kg de MS para mejorar los parámetros productivos.

2.4.9 Cobalto

Los tejidos de los mamíferos no requieren Cobalto (Co) como tal, pero necesitan de la cianocobalamina (B_{12}), una Vitamina que contiene 4 % de Co en su estructura para prevenir su deficiencia (NRC, 2007; Underwood, 1983). La deficiencia de Co en los rumiantes es debida a la incapacidad de los microorganismos ruminales para sintetizar la cianocobalamina, principalmente por falta de aporte en la ración de éste metal a la velocidad y concentración que es requerida. La NRC (2007) establece las necesidades de Co en 0.1-0.2 ppm/kg de MS, puntualizando que los requerimientos son mayores en raciones altas en energía. Para las cabras Haenlein (1992) recomienda una concentración en la dieta de 0.1–0.15 ppm /kg de MS y por su parte Meschy (2000) asevera que los caprinos son menos susceptibles a manifestar una carencia de éste elemento y establece los requerimientos en 0.1 ppm. Mientras que las necesidades para el correcto desarrollo de las bacterias ruminales se encuentran en un rango superior [0.5–1 ppm] (NRC, 2007), este hecho puede ser explicado debido al que solo de un 3–13 % del Co disponible es utilizado para la síntesis de Vitamina B_{12} (NRC, 2007), y de la Vitamina que sale de rumen solo un 3–5 % es absorbida en borregos deficientes en cobalto (Suttle, 2010).

La deficiencia de Co puede presentarse en suelos de origen volcánico, suelos de arenas podsólicas, arenas calcáreas, gravas ferruginosas, además de suelos abonados con cal que reducen su solubilidad (Underwood, 1983). Altas concentraciones de Mn y Ca así como un pH alcalino reducen su solubilidad (NRC, 2007; Suttle, 2010). Las leguminosas tienden a concentrar más Co que las gramíneas (NRC, 2007) en éste contexto los cereales son una fuente pobre de Co [0.01–0.06 ppm] (Suttle, 2010). El Co se concentra principalmente en las capas externas de los granos, por ello el salvado es una fuente rica en Co (Suttle, 2010). El suelo representa una fuente importante de éste elemento al contaminar los forrajes (Suttle, 2010). Underwood (1983) indica que la deficiencia de éste elemento se previene con 0.11 ppm de Co en MS y que la enfermedad es inevitable con 0.07 ppm de Co. En el suero sanguíneo una concentraciones normal son 370 pmol/L y de 220 nmol/kg de hígado fresco (Grace, 1992).

La enfermedad asociada a una carencia de Co es llamada “Marasmo enzoótico”, y afecta a los rumiantes de todas las edades, siendo mayor en pre-rumiantes (Underwood, 1983, NRC, 2007). . Se manifiesta por disminución en la ganancia diaria de peso, pérdida de apetito, debilidad generalizada, consunción muscular (marasmo), pica y anemia grave que produce la muerte (Underwood, 1983). En hembras se reduce la producción diaria de leche, al parto las crías nacen débiles y rara vez sobreviven. Los animales manifiestan anemia normocítica normocrómica, así como hipoplasia del tejido de médula ósea (Underwood, 1983). Las inyecciones con éste elemento resultan ineficientes para la síntesis de vitamina B12 en rumen, en este sentido es mejor administrar sales minerales y bolos de liberación controlada (Grace, 1992).

2.4.10 Zinc

El Zinc (Zn) es parte de una amplia gama de componentes enzimáticos (más de 300 enzimas y 2000 factores de transcripción) entre los cuales destaca anhidrasa carbónica, carboxipeptidasas a y b, fosfatasas, deshidrogenasas, ribonucleasas y DNA girasas; es necesario para el crecimiento de células germinales y somáticas, además se necesita para la síntesis y maduración espermática (Suttle, 2010) así como para un correcto desarrollo de los órganos sexuales. Es por ello que la suplementación estratégica de minerales y energía durante la etapa de empadre puede mejorar las funciones reproductivas y productivas en las diferentes especies (Vázquez- Armijo *et al.*, 2011). Por otro lado el Zn actúa como cofactor de la metaloenzima superóxido dismutasa (CuZnSOD), (Vázquez- Armijo *et al.*, 2011; Suttle, 2010), es necesario para mantener la integridad de las membranas y epitelios de los órganos reproductivos, su deficiencia ocasiona fallas en los procesos reproductivos (Vázquez- Armijo *et al.*, 2011) problemas en la involución uterina, reparación de tejidos postparto, así como, en el retorno a estro. Interfiere en la correcta mineralización de los huesos, su insuficiencia se asocia con malformaciones óseas y baja concentración en esqueleto (Hidiroglou, 1980).

La absorción de Zinc se lleva a cabo en intestino y es regulada por metalotioneinas, proteínas que además participan en la absorción del Cu, razón por la cual un exceso de Cu en la ración interfiere directamente en la absorción de Zinc y viceversa (Underwood y Suttle, 2001). Dietas con altas concentraciones en Ca, Cu y fitatos

interfieren con la absorción de Zn (Haenlein, 1987; Ahmed *et al.*, 2001; Suttle, 2010), La lactancia incrementa las necesidades de éste elemento, en este sentido Ahmend *et al.* (2001) aseveran que 6–7 ppm de Zn, que cubren las necesidades en una cabra gestante, en la lactancia, ésta misma concentración induce una deficiencia severa. Por su parte Suttle (2010), sugiere 37–52 ppm de Zn para prevenir su carencia en cabras. El feto durante la gestación acumula grandes concentraciones de este metal. En machos 4 ppm de Zn/kg de MS inducen deficiencia de Zinc (Haenlein, 1980). Underwood (1983) reporta que pastos con 20 – 30 ppm de éste metal inducen deficiencia. En suelos 5 ppm, en ovejas en pastoreo, forrajes con 20 ppm Zn, ocasionan problemas reproductivos. Underwood (1983) sugiere que mínimo de 30 ppm de Zn/ kg de MS previenen la deficiencia de este elemento. Plantas con concentraciones de Zn inferiores a 50 µg/g de MS deben ser consideradas deficientes de Zn y pueden causar signologías de deficiencia (NRC, 2007)

Los valores normales de Zinc en suero sanguíneo en animales domésticos oscila entre 0.8–1.2 µg/mL, y valores constantes de 0.4 µg/mL o inferiores indican una deficiencia. En forrajes las concentraciones normales se hallan entre 25 – 50 ppm de Zn, en forrajes henificados la concentración es inferior a 13-25 ppm (Suttle, 2010). Underwood (1983) asevera que 5 ppm de Zn en suelo es considerada una concentración baja dicha concentración se reflejará en forrajes con menos de 20 ppm de éste metal.

En animales con deficiencia de zinc se presenta paraqueratosis en la piel, problemas reproductivos como: libido reducido y pobre desarrollo testicular (Haenlein, 1987), dietas con 2.4 ppm de Zn en carneros indujo atrofia de túbulos seminíferos y ausencia total de la espermatogénesis (McDowell, 1997). En los primeros días de preñez se presenta una blastulación anormal en el embrión no implantado (Masters, 1980), abortos y se pueden presentar malformaciones congénitas en el producto, así como partos distócicos y reducción de la prolificidad (Vázquez–Armijo *et al.*, 2011); pérdida de peso, anorexia; rigidez articular (Haenlein, 1987), e hipersalia. Reducción de la actividad de la fosfatasa alcalina, así como cuernos esponjosos, con sangrados en la base y con crecimiento excesivo (Underwood 1983, Suttle, 2010).

Elementos ultratraza

Un elemento es considerado esencial cuando una deficiencia de dicho elemento en la dieta resulta en funciones biológicas subóptimas que son prevenibles o reversibles cuando éste elemento se incrementa en la dieta. Se han reportado 11 elementos que pueden ser considerados esenciales para los animales, estos elementos se encuentran en concentraciones inferiores a 1 µg/kg de MS de la dieta, a estos elementos se les ha llamado elementos ultratraza o posiblemente esenciales, entre ellos tenemos al Arsénico, Boro, Bromo, Cadmio, Flúor, Plomo, Litio, Níquel, Sílice, Titanio y Vanadio (Nielsen, 1984; González *et al.*, 2009).

2.4.11 Aluminio

El Aluminio (Al) es el metal más abundante en la corteza terrestre representa un 8.8 % de su peso total. Su absorción a nivel intestinal depende de la forma química en la cual se encuentra, así como de la solubilidad que tenga al formar compuestos y del pH en el que se encuentre. En este sentido al unirse a silicatos o a citratos, en un pH neutro, reduce su solubilidad, y cuando el pH es menor a 5.0 la solubilidad del aluminio incrementa (Marín-Garza *et al.* 2010). En estudios realizados con ratas a las que se le agregó citrato en la dieta incrementó la absorción de Al y Zn, se asoció a que el citrato redujo el pH intestinal y favoreció su absorción (Greger, 1992). El Al compite con la absorción de Fe y Ca, es por ello que su absorción depende, entre otros factores, de la concentración de estos minerales en la dieta. Además una fuente importante de Al son los suplementos de Ca (Greger, 1993), encontrándose, por ejemplo, en las conchas de ostras hasta en 0.2 – 0.6 % de Al. La absorción de Aluminio es < 1 % y comparte la ruta de absorción activa del Ca.

2.4.12 Arsénico

El Arsénico (As) es un metaloide que se encuentra en el agua, suelo y aire ya sea de forma natural o por causas antropomórficas (Hughes, 2002). Se encuentra en formas orgánicas e inorgánicas en el ambiente, los componentes más conocidos son el arsenato y arsenito. El ácido monometilarsónico (MMA^V) y ácido dimetilarsínico (DMA^V) son metabolitos de las formas inorgánicas encontrados en los mamíferos y son principalmente excretados en la orina (Hughes, 2002). En humanos aún no se ha demostrado su esencialidad como elemento, sin embargo en cabras, aves, cerdos y ratas se han observado signos y problemas reproductivos y productivos por deficiencia de éste metaloide (Nielsen, 1984; Nielsen, 1991; Haenlein y Anke, 2011).

El Arsénico es conocido por su efecto tóxico y debido a la contaminación ambiental de mantos freáticos se han visto sus efectos en animales, humanos y plantas (Biswas *et al.*, 2000); éste elemento también se utiliza como pesticida y sales sódicas de MMA son utilizadas como herbicidas (Hughes, 2002; NRC, 2007), por otra parte en bajas concentraciones tiene efectos benéficos a la salud. Las cabras requieren de éste elemento en muy bajas concentraciones (50 µg/kg de dieta). En la mayoría de forrajes se encuentra a concentraciones entre 0.1 y 1 mg/kg de MS (NRC, 2005; Haenlein y Anke, 2011). Este metaloide se encuentra en los suelos en forma de As (III) y As (V), de estas formas la primera es la más tóxica (Prieto *et al.*, 2006) esto se atribuye a que en el cuerpo genera especies reactivas de oxígeno (ROS) que inducen mutaciones en el DNA y con ello se puede desarrollar cáncer. Por otro lado el Arsénico pentavalente (arseniato) sustituye al ion fosfato en la fosforilación oxidativa con lo que genera deficiencias de energía (González *et al.*, 2009)

Aunque se sabe que el Arsénico tiene efectos benéficos en los animales no se sabe con exactitud su papel fisiológico, se ha sugerido que participa en el metabolismo de la Metionina, y como cofactor en el metabolismo de los aminoácidos azufrados (Uthus, 1992). Y se cree que participa en la función de la Taurina, por lo que se asocia a problemas cardíacos. En cabras los signos más firmes de una deficiencia de Arsénico se relacionan a problemas de fertilidad y mortalidad perinatal de las crías, así como retraso en el crecimiento. Por otro lado en cabras en lactancia se ha observado muerte con daño en el miocardio. En casos avanzados se ha observado ruptura de las membranas mitocondriales en corazón y probablemente asociados al papel que desempeña la taurina en el musculo cardiaco (Nielsen, 1991). Otro signo descrito en cabras es una reducción en los niveles sanguíneos de trigliceridos (Nielsen, 1984). Un papel importante de la Taurina es la conjugación de ácidos biliares necesarios para la solubilización de los lípidos de la dieta, previa absorción, es por ello que una deficiencia de Arsénico puede afectar la disponibilidad de Taurina y afectar la concentración de triglicéridos en la sangre (Nielsen, 1991).

En cabras alimentadas con raciones de 10 µg de As/kg de MS se observaron reducciones en la eficiencia reproductiva, mayor incidencia de abortos y reducción en la tasa de concepción, así como reducción en el peso al nacimiento, menor consumo de alimento, menor ganancia de peso en cabritos y se incrementó la

mortalidad de adultos y cabritos al compararlos con animales alimentados en raciones con 350 µg/kg de MS (Haenlein y Anke, 2011). La NRC (2005) sugiere que cabras concentraciones inferiores a 35 µg de As/kg muestran efectos por insuficiencia. En aves el As se ha relacionado con el metabolismo de la Arginina y el Zn, y se sugiere que desempeña un papel en la síntesis proteínica específicamente en el metabolismo de aminoácidos (Nielsen, 1984), así el As afecta el metabolismo de Metionina a Taurina y poliaminas; además participa en la metilación de biomoléculas. En aves y ratas 12 µg de As/kg de dieta generan deficiencia (NRC, 2005).

Por otro lado en zonas donde el As se encuentra en altas concentraciones en el agua y los consumos son altos durante largos periodos de tiempo se han observado problemas de cáncer en piel, y problemas de hiperqueratosis e hiperpigmentación de este órgano (Hughes, 2002). En estudios realizados en estos tejidos no se encontraron niveles elevados de este metaloide, sin embargo su consumo crónico se asocia a problemas de carcinomas de células escamosas y de células basal, así como gangrena en las extremidades. La forma trivalente del As en forma de arsenitos y arsina son los más tóxicos debido a su alta afinidad por los grupos amino de la Histidina y los grupos SH- de residuos de Cisteína (Hughes 2002; González *et al.*, 2009); el cáncer asociado a efectos del As posee diversos mecanismos de inducción entre los que se incluyen anormalidades cromosómicas, inducción de estrés oxidativo, alteración en la reparación del DNA, aumento de la proliferación celular, amplificación de genes y supresión de p53 (Tapio y Grosche, 2006). En contraparte él As se ha utilizado para inducir apoptosis en tumores de próstata, así como en terapias contra leucemia y se ha asociado al As₂O₃ con efectos apoptóticos en cáncer gástrico en humanos (González *et al.*, 2009).

Existen estudios donde se reporta el efecto tóxico de una sobredosis de As en cabras, en las que a dosis de 125 y 150 mg de Arsenito de Sodio fueron letales. Los signos de toxicidad se observaron 4 horas postpandrial, entre los que destacan diarrea, orina de color roja, signos nerviosos e incoordinación, la muerte se presentó entre 40 y 48 horas postratamiento (Biswas *et al.*, 2000). En cabras a las que se les administraron 75 y 100 mg de Arsenito de Sodio diariamente mostraron signos clínicos de toxicidad 12 h post-alimentación sin llegar a morir, se observó embotamiento de la conciencia, depresión, orina ligeramente roja. Un mes posterior

al tratamiento las cabras se mostraron débiles, con pérdida de apetito, oliguria y orina color rojo; a las 8 semanas las cabras mostraron una profunda debilidad muscular, ictericia, piel reseca y pelo hirsuto, la muerte sobrevino a los tres meses del tratamiento (Biswas *et al.*, 2000)

Los alimentos de origen marino son la fuente principal de este elemento, seguida de cereales, setas y productos de origen animal, en ellos se encuentra en forma de arsenobetaina (> 90 %), principalmente, arsenocolina y menos de 1 % en forma de Arsénico orgánico (González *et al.*, 2009). En el agua de bebida se encuentra principalmente en su forma inorgánica y los valores normales oscilan entre 2-3 µg/L. El límite permitido por la OMS para el agua para consumo humano es de 10 µg/L. En los forrajes las concentraciones comúnmente encontradas oscilan entre 0.1–1 mg/kg de MS, en granos entre 0.05-0.4 mg/kg de MS y en productos de origen marino de 2.6-19 mg/kg de MS (Anke, 1985).

2.4.13 Níquel

Los requerimientos de Níquel se han establecido para cabras entre 300 y 350 µg/kg de forraje en materia seca (Anke *et al.*, 1984). Su deficiencia se asocia con reducción en la ganancia diaria de peso, bajo peso de los cabritos al nacimiento, anemia, paraqueratosis, debido a una mala interacción con el Hierro, Zinc y Calcio, además se ha asociado con mal metabolismo de la urea en los microorganismos ruminales, en este sentido éste elemento parece tener un papel importante en la función de la ureasa (Haenlein ,1987).

En el suelo el Ni se encuentra unido a la materia orgánica formando quelatos solubles. En las plantas es un metal poco adsorbido en las raíces, y su acumulación es mayor en hojas y semillas. En los suelos arcillosos es mayor su absorción junto con el Cu. En las cabras mejora la fertilidad y ganancia de peso (Anke *et al.*, 1991). Sin embargo al igual que el As no se ha demostrado una función específica en el metabolismo. Se demostró en ratas que la deficiencia de Ni, reduce la concentración de enzimas hepáticas implicadas en el ciclo de Krebs aunadas a un daño hepático (Suttle, 2010). A nivel ruminal se ha demostrado que una ración que aporte de 0.26 – 0.85 ppm de Ni mejora los niveles de ureasa, por lo tanto se mejora el metabolismo del nitrógeno, esto es debido a que el Ni es un componente estructural de la ureasa de las bacterias ruminales (Suttle 2010).

Una ración con concentraciones inferiores a 0.1 ppm de Ni es considerada deficiente, su exceso altera el metabolismo de Mg y Zn (Anke *et al.*, 1995). En suelos un pH inferior a 6.5 mejora su disponibilidad. En forrajes seniles se reduce su concentración, asociada a una menor absorción radicular. Las hojas y tallos de las gramíneas tienen menor proporción de éste mineral comparado con las semillas y en general las plantas lo almacenan en las semillas. Una deficiencia de vitaminas del complejo B (Piridoxina [B6], Ácido Fólico [B9] y Cianocobalamina [B12]) incrementan su deficiencia en el organismo (Nielsen, 2000), este incremento puede no ser muy marcado en rumiantes cuya capacidad ruminal para sintetizar estas vitaminas es adecuado, pero en rumiantes neonatos y no rumiantes puede ser un factor que contribuye a su deficiencia.

2.4.14 Litio

El Litio (Li) a dosis de 1 y 2 µg/ kg de materia seca produce mal comportamiento productivo, manifestándose bajos pesos al nacimiento y bajas ganancias de peso en cabras (Haenlein, 1987). Es un elemento que se ha utilizado en el pastoreo controlado, como cloruro de litio para generar aversión por un forraje o planta determinada en ovinos, se aprovecha el efecto emético que produce en los animales al consumir dosis de 200 – 225 mg/kg de peso vivo existiendo diferencias entre razas y se obtiene un efecto más prolongado a dosis mayores de 225 mg (Manuelian *et al.*, 2014). Este mineral se le atribuye propiedades antimaniáticas en humanos.

2.4.15 Vanadio

El Vanadio (V) es un elemento abundante en los suelos, y el consumo de forrajes y cereales contaminados con suelo o el consumo directo de suelo es la mayor fuente de vanadio para los animales (NRC, 2007); en semillas y productos de cereales este mineral se encuentra en concentraciones de 5–40 µg/kg (Anke *et al.*, 2005). Algunos tipos de roca fosfórica pueden contener hasta 6000 mg de V por Kg, representando una fuente potencial de intoxicación. Su absorción es muy baja 1.6 % del total. Los requerimientos se establecieron en 10–25 µg/kg de MS (Anke *et al.*, 2005; NRC, 2007) y un máximo tolerable de 50 mg/ kg de dieta (NRC, 2007). Por otro lado una intoxicación por V inhibe las Na-K ATPasas y genera un daño irreversible en hígado y riñones (NRC, 2007), en corderos alimentados con hasta 800 mg de V por día provocó diarrea y anorexia.

El V en cabras juega un papel en la reproducción como un elemento que previene la incidencia de abortos y reduce el número de servicios en cabras para gestar; además juega un papel sobre la ganancia diaria de peso en caprinos en crecimiento afectando tanto a machos como a hembras y afecta la expectativa de vida de los animales adultos (Anke *et al.*, 2005), así como la producción láctea (Anke *et al.*, 1984). Anke *et al.* (2005) estudiaron el efecto de una deficiencia de V ($< 20 \mu\text{g}/\text{kg}$ de dieta en MS) en cabras gestantes y establecieron que la deficiencia durante la gestación no afectó el crecimiento del producto, sin embargo tuvo un efecto en reducir la ganancia de peso postparto (a los 90 días de vida) 15.2 kg contra 17.5 kg del grupo testigo (2.4 mg de V/kg de MS). Éste elemento también influyó en la supervivencia de cabritos y adultos, para el grupo de cabritos con deficiencia la mortalidad fue de 24 % mientras que en el grupo testigo se registró una mortalidad del 5 % (Anke *et al.*, 2005). Este mismo autor asegura que los animales con deficiencia mostraron dolor e inflamación de las articulaciones tarsales, así como, malformaciones en extremidades.

El Vanadio (III, IV) tiene un efecto similar a la insulina y en humanos se ha utilizado para el tratamiento de diabetes. En ratas alimentadas con dietas deficientes de éste mineral mostraron un incremento en el peso de la glándula tiroidea y, se cree que juega un papel en la actividad de algunas enzimas que participan en el metabolismo del Yodo (Anke *et al.*, 2005) en especial la actividad de las peroxidasas tiroideas (Nielsen, 1991).

3. HIPÓTESIS

Las concentraciones minerales en la sangre de las cabras dependen directamente de la concentración de los minerales en las plantas consumidas en el pastoreo, además ésta a su vez está afectada por la concentración de minerales en suelo, así como de la presencia de materia orgánica y el pH. Por lo que existirá una correlación entre las concentraciones de los minerales en sangre y las de las plantas o suelos. Existe una variabilidad en la concentración mineral por regiones.

4. OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración de macro, micro y ultratraza elementos en suelo, forrajes y sangre de cabras en pastoreo en Valles Centrales y Mixteca Oaxaqueña por espectroscopia de emisión atómica, para identificar posibles deficiencias de elementos que puedan afectar la producción caprina en las cabras en pastoreo de dichas regiones de Oaxaca.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración mineral en suelos de las regiones Valles Centrales y Mixteca de Oaxaca
- Identificar y determinar la concentración de minerales en los forrajes consumidos por los caprinos en las regiones Valles Centrales y Mixteca de Oaxaca.
- Determinar la concentración mineral en sangre de cabras producidas en pastoreo en las regiones de Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña.
- Tener una primera aportación en cuanto a la concentración de los minerales ultratraza en sangre de cabras en pastoreo.

6. Materiales y método

Se colectaron muestras de suelo, forraje (gramíneas, herbáceas y arbustivas) y sangre de cabras en pastoreo de dos regiones productoras de cabras del estado de Oaxaca. Región de Valles Centrales y región de la Mixteca del estado de Oaxaca.

En la región de Valles Centrales se colectaron muestras en las poblaciones de La Lobera, Santa Inés del Monte, perteneciente al distrito de Zaachila ubicada a 1780 msnm, 16°56' latitud norte y 96°46' longitud oeste, con un tipo de suelo cambisol cálcico; Santa Catarina Quiané ubicada a 16°53' latitud norte y 96° 44' longitud oeste a 1510 msnm (tipo de suelo cambisol cálcico, leptosol y luvisol) y San Pablo Huixtepec (Se ubica en las coordenadas 16° 49' longitud oeste, a 1,480 msnm). El clima se clasifica como templado subhúmedo con lluvias en verano (acw) con baja concentración de calor en verano y frío moderado en invierno. La temperatura media anual es de 15.2 °C, tipo de suelo cambisol cálcico (Luvisol, vertisol y regosol), ambas pertenecientes al Distrito de Zimatlán de Álvarez; San Pedro Guegorexe (ubicada a 1595 msnm, cambisol, luvisol) y Buena Vista localidades pertenecientes al distrito de Ocotlán de Morelos Oaxaca. En estas poblaciones la temperatura anual promedio oscila entre 18 y 22° C, y la precipitación anual varía entre 600 y 700 mm, el clima predominante es semiseco semicálido (63.9 %), el suelo predominante es de tipo cambisol y regosol (INEGI, 2008).

En la región de la Mixteca Oaxaqueña se colectaron muestras de suelo, plantas y sangre de cabras en pastoreo de las siguientes comunidades: Santa María Tindú pertenece al municipio de Tezoatlán de Segura y Luna, ubicado a 1960 msnm, clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano, suelo leptozol; Guadalupe Cuautepec perteneciente al municipio de San Juan Bautista Suchitepec 17°58' latitud norte y 97° 39' longitud oeste, ubicada a 1960 msnm; Guadalupe la Huertilla perteneciente a Mariscala de Juárez, ubicada a 1100 msnm 17°52' latitud norte y 98°08' longitud oeste, clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano, suelos fluvisol, leptosol y regosol; San Marcos Arteaga ubicada a 1640 msnm en promedio, entre las coordenadas 17°43' latitud norte y 97°51' longitud oeste, cuyos suelos predominantes son leptosol, regosol y phaeozem (del uso potencial de la tierra un 17.5 % es aprovechable únicamente por el ganado caprino); y Chocani

perteneciente al municipio Villa Tejúpam de la Unión 17°40' latitud norte y 97°18' longitud oeste localizada a 2110 msnm.

Muestras de suelo

Se colectaron entre 25 y 50 sub-muestras de suelo de las diferentes rutas de pastoreo, con la ayuda de una barrena de acero inoxidable de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro, las muestras se colectaron de 0-15 cm para gramíneas y herbáceas, y de 15-30 cm para arbustivas. El muestreo se realizó con la técnica de zig-zag descrito por Fick et al., 1979. Las sub-muestras de suelo se conservaron en bolsas de plástico para evitar contaminación de minerales por algún material. Inmediatamente después las muestras se secaron al aire libre bajo sombra durante 5 días. Después del secado, se procedió a mezclar las muestras por ruta de pastoreo, comunidad y región, las muestras se molieron con un mazo de madera y se tamizaron con malla del número 30 para su posterior análisis de minerales.

Muestras de forrajes

En las rutas de pastoreo de valles y mixteca, se colectaron muestras de arbóreas, arbustivas, herbáceas y gramíneas. La colección fue con el apoyo y experiencia de los pastores, en el conocimiento de los diferentes forrajes que consumen las cabras, además, del consumo observado en campo por las cabras. En la colecta se diferenció entre hoja y fruto (cuando estaba presente) para la determinación de elementos. Las muestras se colectaron en bolsas de papel y se pesaron en fresco, además se tomó evidencia fotográfica de las diferentes especies colectadas para su posterior identificación. Posteriormente los forrajes y frutos se desecaron en una estufa de aire forzado a 60 °C por 24h. Las muestras se pesaron en seco, e inmediatamente después se molieron en un molino de laboratorio (Thomas-Wiley, Modelo 4) con una malla de 1mm, se almacenaron en bolsas de plástico hasta su análisis identificándolas por comunidad y especie.

Muestras de sangre

Se colectaron muestras de sangre de cada rebaño a través del método Vacutainer, por punción de la vena yugular en cabras mayores a dos años de edad y de un parto no superior a 30 días, se identificaron por comunidad y productor e inmediatamente

después se mantuvieron en refrigeración hasta su almacenamiento a una temperatura de -20 °C.

Digestión acida de las muestras. Procedimiento de microondas

Suelo

Se pesaron 0.5 g de muestra de suelo. Posteriormente se agregó 5 mL de agua desionizada (agua milli Q), 3 mL de ácido nítrico (concentración) y 1 mL de ácido fluorhídrico. Las muestras se taparon y dejaron reposar durante 30 minutos para su posterior digestión en un horno de microondas (MARS 5, VERSIÓN 194A04, CEM CORPORATION) con dos rampas de temperatura y tiempo. La rampa 1, se realizó a 1600 Watts de potencia y a 120 °C por 10 minutos y se mantuvo por 5 minutos. La rampa 2 se realizó a 1600 Watts de potencia por 10 minutos y se mantuvo por 15 minutos a 170 °C y la rampa de enfriamiento se mantuvo por 5 minutos. Posteriormente se dejó enfriar los tubos durante 45 minutos en una campana de extracción de gases y al darse la compensación de gases, se procedió a aforar las muestras a 25 mL con ácido clorhídrico 0.1 M. Las muestras se filtraron (papel Watman no.4) y almacenaron en frascos de plástico de 60 mL en refrigeración a (0-2 °C) hasta su análisis.

Muestras de forrajes

Se pesaron 0.5 g de forraje molido en vasos para digestión. Posteriormente a las muestras se le agregaron 5 mL de agua desionizada, 3 mL de ácido nítrico y 2.5 mL de peróxido de hidrógeno. Inmediatamente después los vasos se taparon y se dejaron reposar durante 30 minutos previos a su digestión por microondas (MARS 5, VERSIÓN 194A04, CEM CORPORATION). Para la digestión se hicieron dos rampas de temperatura rampa 1 se realizó a 1600 watts de potencia por 7 minutos y se mantuvo por 5 minutos a 120 °C. Rampa 2 se realizó a 1600 Watts de potencia por 10 minutos y se mantuvo por 5 minutos y la rampa de enfriamiento duró 5 minutos. Se dejaron enfriar los tubos durante 45 minutos en una campana de extracción de gases, después de la condensación de los gases se procedió a aforar las muestras a 25 mL con ácido clorhídrico 0.1 molar y se filtraron (papel filtro Watman no. 4) al vacío para posteriormente almacenarse en frascos de plástico de 60 mL en refrigeración a -16°C hasta su análisis.

Muestras de sangre

Las muestras de sangre se descongelaron y se pesaron 0.5 gramos de muestra por cabra. Posteriormente se le agregaron 5 mL de agua desionizada, 2.5 mL de ácido nítrico y 2.5 mL de peróxido de hidrogeno. Los frascos se taparon y se dejó reposar la muestra por 30 minutos para su posterior digestión en el horno de microondas mediante las rampas y temperaturas descritas previamente para los forrajes. Después de la digestión, las muestras se dejaron enfriar y se aforaron a 25 mL con ácido clorhídrico 0.1 M. Inmediatamente después se almacenaron en frascos de plástico a -16 °C hasta su posterior análisis. La determinación de los elementos en las diferentes muestras se realizó en un espectrofotómetro secuencial de plasma acoplado inductivamente (ICP).

6.5 Análisis estadístico

El modelo estadístico para el análisis de minerales en suelo, forraje y sangre de cabras incluyó los efectos de la región y comunidad y para el análisis de varianza se utilizó el procedimiento GLM de SAS (SAS, 2002) las medias aritméticas se compararon con la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1997).

$$Y_{ij} = \mu + R_i + L_j + R_i * L_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta.

μ = es la media general.

R_i = es el efecto de la *iesima* concentración mineral por Región (Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña).

L_j = Es el efecto de la *L esima* concentración mineral dentro de las comunidades (Chocani, Cuautepéc, La huertilla, San Marcos Arteaga, Santa María Tindú, Buena Vista, La Lobera, Quiané, San P. Guegorexe y San Pablo Huixtepec).

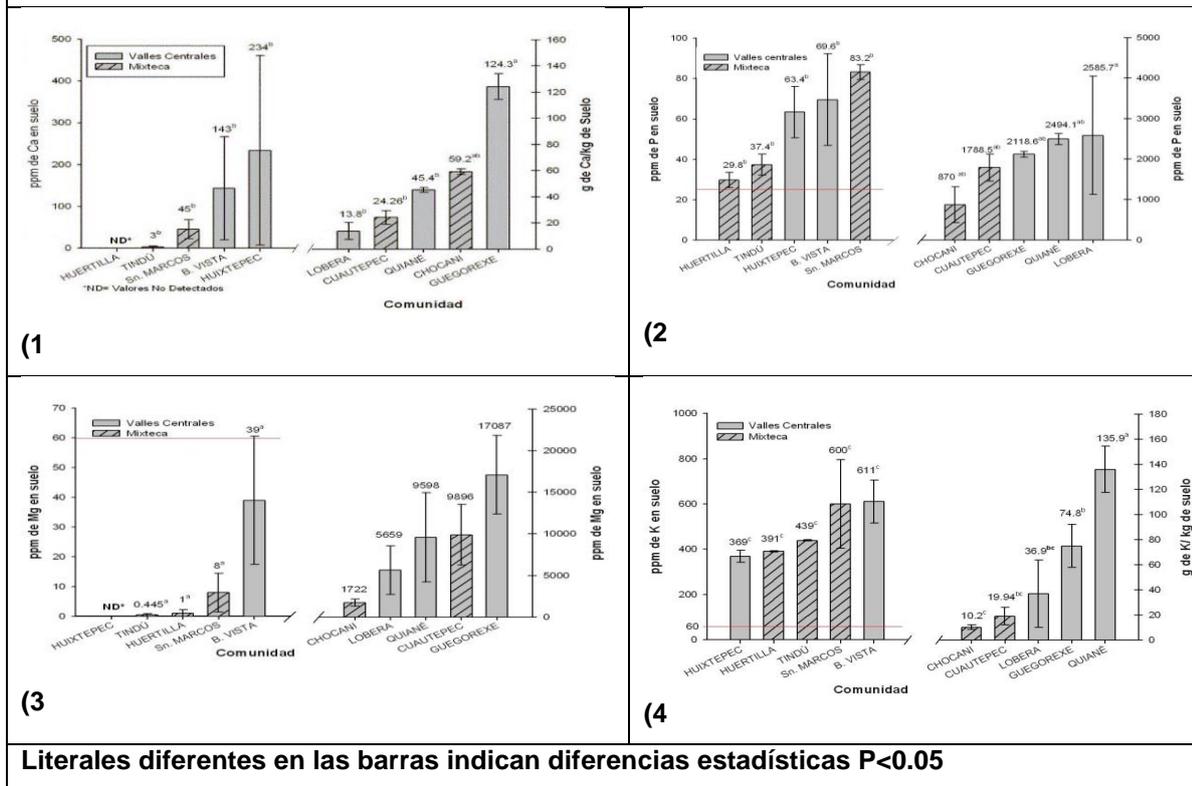
ε_{ij} = Es el error aleatorio asociado a cada observación.

7. Resultados y discusión

7.1 Macroelementos en suelo

Las Gráficas 1 a 4 muestran las concentraciones de minerales de calcio, fósforo, magnesio y potasio en los suelos de estudio. Estas se explican a continuación:

Tabla 2. Gráficas 1, 2, 3 y 4 concentración de macroelementos en las regiones de Valles centrales y Mixteca oaxaqueña.



Calcio en suelo

La concentración de Ca en el suelo de las comunidades de la Mixteca y Valles Centrales, difieren entre comunidades ($P < 0.005$). Las comunidades de Huixtepec, Buena Vista, Sn. Marcos Arteaga y Tindú presentaron concentraciones por debajo límite mínimo (900 ppm) (Domínguez-Vara y Huerta Bravo, 2008), en la comunidad de la Huertilla no se detectaron valores en el momento del análisis. Las muestras de suelo de Sn. Pedro Guegorexe tuvieron mayor contenido de Ca en el suelo (12.43 %), seguido de los suelos de Chocani, Quiané, Cuauhtepic y la Lobera. Whitehead (2000) menciona que los suelos de zonas templadas, el Ca se encuentran en concentraciones de 7 a 250 g, correspondiendo este valor con 50 % de los suelos muestreados. En los suelos no ácidos Whitehead (2000) menciona que el catión dominante es el Ca y en segundo lugar se encuentra el Mg. Los suelos derivados de rocas calizas contienen de 30-250 g de Ca/kg de MS. En nuestro estudio, los suelos de Sn. Pedro Guegorexe, Chocani y Quiané coinciden con esta concentración. Por otro lado, Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) en Toluca, estado de México reportan valores entre 749 y 2941 ppm de Calcio en dos épocas del año. Whitehead (2000) en suelos de Escocia reporta concentraciones de Ca de 10-25 g/kg, éstos valores coinciden con los suelos de La Lobera y Guadalupe Cuauhtepic.

Fósforo en suelo

Todas las comunidades muestreadas superaron el nivel crítico de 25 ppm de Fósforo (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008). Las concentraciones de P en suelos de la Huertilla y Tindú tuvieron el menor contenido Grafica 2. Estos valores fueron similares (2 - 34 ppm) para suelos de Valles Centrales reportados por Ruiz (1998) y Cruz *et al.* (2013) quienes reportan de 7.39 a 52.39 ppm. En Huixtepec y Buena Vista los valores fueron similares al altiplano del país (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008: 1.4 – 77 ppm). Whitehead (2000) reporta valores de P promedio en suelos de regiones templadas de 400 – 4000 ppm y para suelos arenosos de 400 ppm con base a MS. Whitehead (2000) menciona que el P tiende a acumularse en los horizontes superficiales del suelo y está íntimamente relacionado a la materia orgánica. Por otro lado el elemento puede formar compuestos insolubles, como el fosfato dicálcico, por lo que tiende a ser limitante en suelos con exceso de Calcio y afectar el crecimiento adecuado de las plantas. La escasez de P en los suelos se

asocia con pH ácidos, debidos a la alta concentración de Hierro y Aluminio que reaccionan con el P, limitando su solubilidad.

Magnesio

Las concentraciones de Mg determinadas en suelos de Valles Centrales y Mixteca Oaxaqueña (Gráfica 3) son muy variables numéricamente, pero no difieren estadísticamente entre comunidades ($P > 0.05$). El 40 % de las comunidades, no cubrieron el contenido mínimo (30 ppm) requerido para el desarrollo adecuado de las plantas (Domínguez-Vara y Huerta Bravo, 2008) lo que puede limitar la producción de forraje en estas zonas. Al momento del análisis no se detectaron concentraciones de Mg en los suelos de Sn. Pablo Huixtepec.

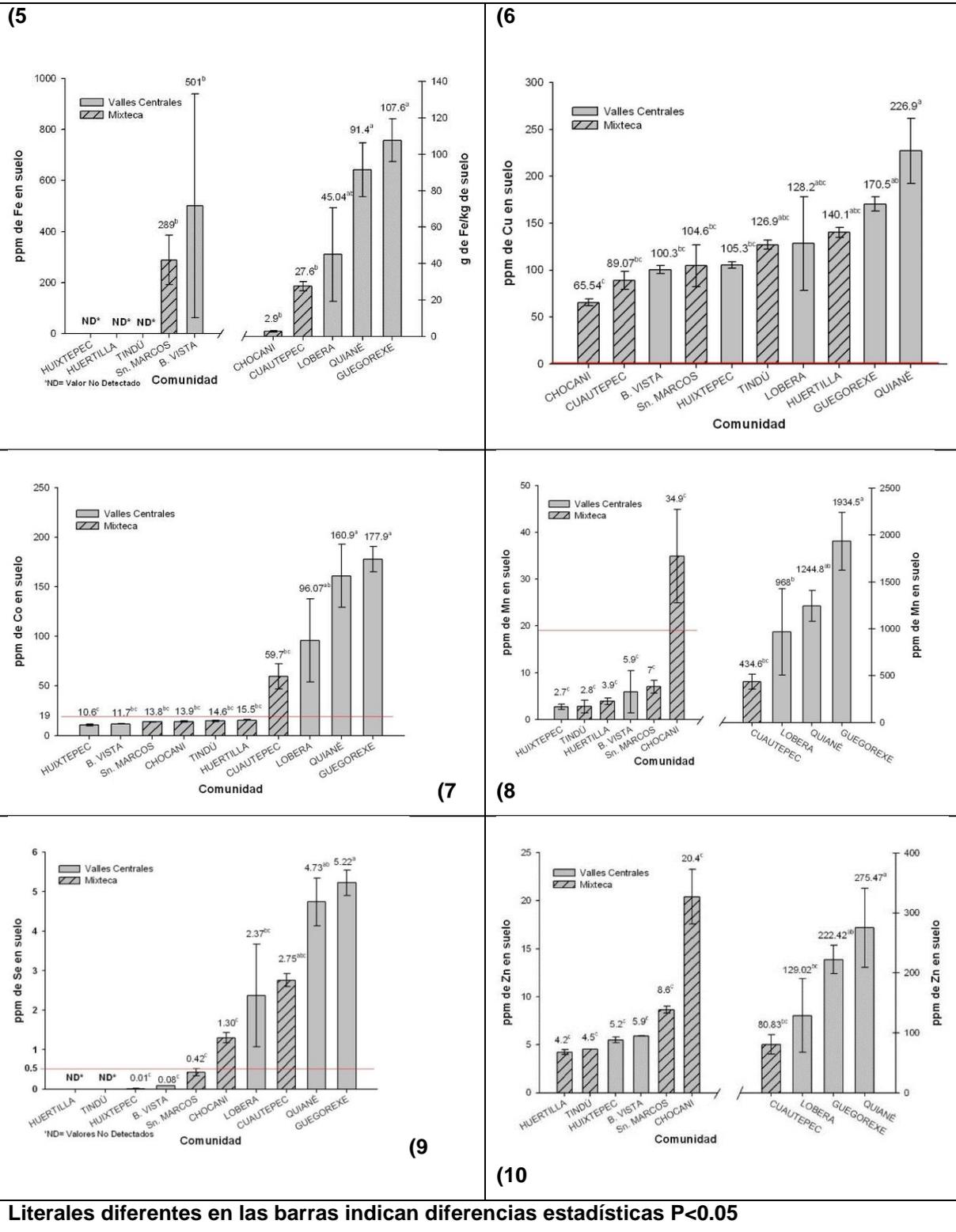
Los resultados de esta investigación al menos en las comunidades de Chocani, la Lobera, Cuautepec y San Pedro Guegorexe (> 1722 ppm) superan lo reportado por Ramírez *et al.*, 1992 y Sánchez *et al.* (1997) para suelos en el estado de Tlaxcala (304-319 ppm) e Hidalgo (635-926 ppm) respectivamente. Por otro lado Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) en el Estado de México reportan valores de Mg muy inconstantes desde 51 a 2,277.8 ppm estas concentraciones coinciden con lo determinado en la comunidad de Chocani en la Mixteca Oaxaqueña.

Potasio

La concentración de Potasio en los suelos de Valles Centrales y Mixteca se presentan en la Gráfica 4. Todos los suelos cubrieron el mínimo requerido, para un desarrollo adecuado en los forrajes (60 ppm) (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008); Sánchez *et al.* (1997); Ramírez *et al.* (1992). Contenidos de más de 250 ppm se observaron en Huixtepec, Buena Vista en Valles Centrales, en La huertilla, Tindú y San Marcos Arteaga de la Mixteca. Por su parte Ruíz (1998) en los Valles Centrales de Oaxaca reporta concentraciones de 250-1164 ppm de K.

7.2 Microelementos en suelo

Tabla 3. Gráficas 5-10 concentración de microelementos en suelos de las regiones de Valles centrales y Mixteca oaxaqueña.



Hierro

El 70 % de las comunidades presentaron valores de Fe, superiores al mínimo (4.5 ppm) requerido para éste elemento por los forrajes (Domínguez-Vara-Huerta-Bravo, 2008), en tres comunidades (Guadalupe la Huertilla, Santa María Tindú y San Pablo Huitepec) no se detectaron valores de Fe al momento del análisis y en las comunidades de Guadalupe Cuautepec, La Lobera, Santa Catarina Quiané y San Pedro Guegorexe se encontraron valores muy elevados (27.6, 45.04, 91.4 y 107.6 g/kg respectivamente) que pueden interferir con la disponibilidad de otros elementos como Cu, Se, Zn y P. Domínguez-Vara y Huerta Bravo (2008) reportan concentraciones de Hierro en Toluca Estado de México de 31.1-219.2 ppm valores bajos de hierro comparados a los determinados en este estudio y la concentración más alta determinada en su estudio es similar a la determinada en San Marcos Arteaga. Sánchez *et al.* (1997) reportan valores de 369.6-1051.5 ppm en los suelos de Acatlán, Hidalgo valores que coinciden a los determinados en San Marcos y Buena Vista. Por su parte Librado (2007) en suelos de San Juan de Los Lagos en el estado de Puebla reporta valores de 1.8-17 ppm de Fe, valores bajos en comparación a los de este estudio.

Cobre

Las concentraciones de Cu en suelos de Valles Centrales y Mixteca Oaxaqueña se muestran en la Gráfica 6, en todas las comunidades muestreadas se encontraron valores superiores al mínimo requerido (0.60 ppm) por las plantas para un adecuado desarrollo (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008). Sin embargo un exceso de Fe en los suelos pueden interferir en la disponibilidad de Cu en plantas y animales por los efectos antagónicos que se presentan por desbalances entre estos elementos. Dominguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) reportan deficiencias de Cu (concentración < 0.45 ppm) para algunas unidades de producción en Toluca; todas sus unidades en estudio presentan concentraciones inferiores a las determinadas en la presente investigación. Por su parte Sánchez (1997) en Acatlán, Hidalgo con vacas en pastoreo reporta valores de Cu de 3.9 y 4.5 ppm valores inferiores a los encontrados en los suelos de este estudio. Bautista-Cruz y Arnaud-Viñas (2006) analizaron suelos en dos comunidades de Valles Centrales de Oaxaca y reportan valores de Cu de 32-74 ppm que coinciden con la presente investigación en suelos de Chocani, y

lo asocian al uso de pesticidas, herbicidas, excretas de origen animal y riego con aguas residuales en las zonas de muestreo. Por su parte Rosas *et al.* (2008) reportan concentraciones promedio de 0.92 ppm de Cu, en suelos de zonas cafetaleras de Oaxaca.

Cobalto

Las concentraciones de Co en suelos de Oaxaca se presentan en la Gráfica 7. Andrews (1966) refiere que suelos con concentraciones de Co entre 3.3 y 4.8 ppm son considerados deficientes y concentraciones entre 0.8 y 1.8 ppm son clasificados como severamente deficientes, y en estas condiciones es común encontrar animales con deficiencia de Cianocobalamina. En este sentido todos los resultados de este estudio, presentan valores adecuados en este elemento, sin embargo hay que tener en cuenta que no todo este elemento es disponible para las plantas y que puede reaccionar con otros elementos y hacerlo indisponible para los forrajes. Meschy (2000) argumenta que las cabras son menos susceptibles a una deficiencia de Cobalto y que forrajes con una concentración de 0.1 ppm de Co que es el mínimo requerido por ovinos para generar deficiencia, en cabras esta misma concentración (0.1 ppm) es un nivel tóxico de Cobalto. Bautista-Cruz y Arnaud-Viñas (2006) en suelos agrícolas de Oaxaca regados con aguas residuales registraron concentraciones de Cobalto similares (7-19 ppm) a las encontradas en 60 % de las comunidades de esta investigación. Por su parte en suelos de Nueva Zelanda Andrews (1966) reporta concentraciones de Cobalto en suelos deficientes de 4.6-4.8 ppm valores superados por lo determinado en este estudio. Whitehead (2000) argumenta que los suelos de clima templado normalmente contienen concentraciones de Cobalto entre 1-40 ppm, éste mismo autor cita que en Escocia los suelos contienen de 1.2-70 ppm de Cobalto. En este sentido 60 % de los suelos analizados coinciden con las concentraciones de suelos de clima templado y 70 % con suelos de Escocia.

Manganeso

La Gráfica 8 muestra las concentraciones de Mn en suelos de Valles Centrales y Mixteca Oaxaqueña. La mitad de los muestreos presentó deficiencia de éste elemento (< 7 ppm); McDowell (1985) menciona que en suelos el mínimo de Mn se encuentra en el orden de las 19 ppm, Por lo que se pueden estar presentando

desordenes asociados a la deficiencia de este elemento. Bautista-Cruz y Arnaud-Viñas (2006) en suelos de Oaxaca reportan concentraciones de Mn entre 298 y 1124 ppm valores similares a los encontrados en éste estudio. Los resultados de esta investigación coinciden con los reportados por Rosas *et al.* (2008) quienes registraron concentraciones de Mn de 4.5, 18.99, 30.49, 38.94 y 50.01 para suelos de producción de café de Guerrero, Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca respectivamente. Altas concentraciones de Mn se asocian con suelos ricos en Hierro y/o materia orgánica, así como suelos de zonas áridas y semiáridas (Kabata-Pendias y Pendias, 1986).

Selenio

Las concentraciones de Se en suelos se muestran en la Gráfica 9, el 50 % de los suelos de las áreas de pastoreo muestran deficiencias, al no cubrir con el valor mínimo indicado por el NRC (1983) en áreas deficientes que es de 0.5 ppm o menos. En las comunidades de Guadalupe La Huertilla y Santa María Tindú no se detectaron valores de Se al momento del análisis. Las comunidades de San Pablo Huixtepec, Buena Vista y San Marcos Arteaga entran en la clasificación de suelos deficientes en Se al no alcanzar el mínimo (0.5 ppm) recomendado para el correcto desarrollo de los forrajes. Whitehead *et al.* (2000) indica que se pueden encontrar altas concentraciones de Se en suelos áridos y suelos alcalinos. Mientras que suelos de origen volcánico son deficientes en éste elemento aunado al detrimento que generan un exceso de sulfatos. Los resultados de esta investigación coinciden con los reportados por Bautista-Cruz y Arnaud-Viñas (2006) para suelos de Oaxaca (1.2-2.1 ppm), así como con los de Bautista-Cruz *et al.* (2011) quienes señalan concentraciones promedio de Se en zonas agrícolas, de Valles Centrales, de 0.3 y 0.6 mg/kg, además coincide con los reportados por Ramírez-Bribiesca *et al.* (2001) en suelos de Tlaxcala, México, quien reporta concentraciones de 0.042-0.051 ppm similares a las encontradas en suelos de Buena Vista en Valles Centrales de Oaxaca (0.088 ppm). Además los resultados coinciden con suelos de USA reportados por Whitehead *et al.* (2000) quien refiere concentraciones <0.1-6 ppm de Se, estas altas concentraciones se encontraron en Valles Centrales en las comunidades de Quiané y San Pedro Guegorexe 4.73 y 5.22 ppm respectivamente.

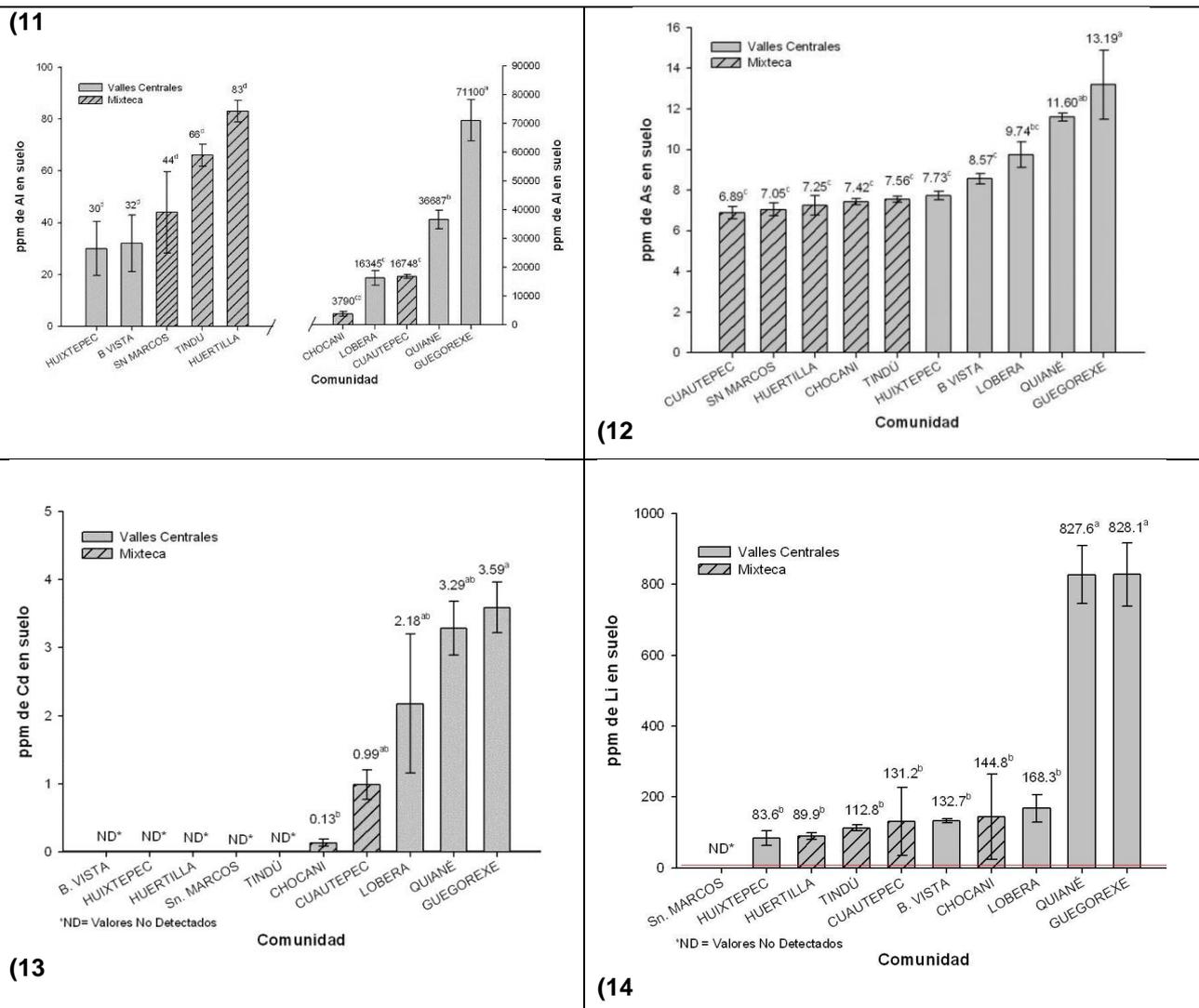
Zinc

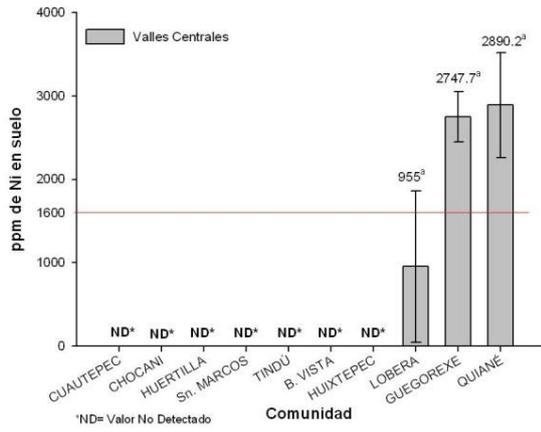
Las concentraciones de Zinc en las áreas de pastoreo muestreadas se presentan en la Gráfica 10, todas las comunidades muestreadas presentaron concentraciones mayores al mínimo (2 ppm) requerido para el correcto desarrollo de los forrajes (McDowell, 1985. Cabrera *et al.* (2009) en Quintana Roo reportan concentraciones de Zn en suelos de 0.8-1.6 superado por los valores determinados en este estudio. Por su parte Domínguez-Vara y Huerta-Bravo en Toluca, México encontraron concentraciones de 1.1-6.5 ppm coincidiendo con las comunidades de La Huertilla, Tindú, Huixtepec y Buena Vista. Además coinciden con lo determinado en el estado de Hidalgo por Sánchez *et al.* (1997) 4.4 y 4.6 ppm. En Oaxaca, Rosas *et al.* (2008) reportan suelos deficientes en zonas cafetaleras con valores de Zn de 1.20 ppm, además registraron deficiencias de este elemento en los estados de Chiapas, Puebla y Veracruz (0.72, 1.97 y 1.13 ppm respectivamente) y una concentración que cubre el mínimo en el estado de Guerrero (2.15 ppm). En Oaxaca Bautista-Cruz y Arnaud-Viñas reportan concentraciones elevadas de este elemento (51-174 ppm) en zonas de alfarería y agrícolas de Xoxocotlán Oaxaca, coincidiendo con lo determinado en La Lobera y Guadalupe Cuautepec.

7.3 Elementos ultratraza en suelo

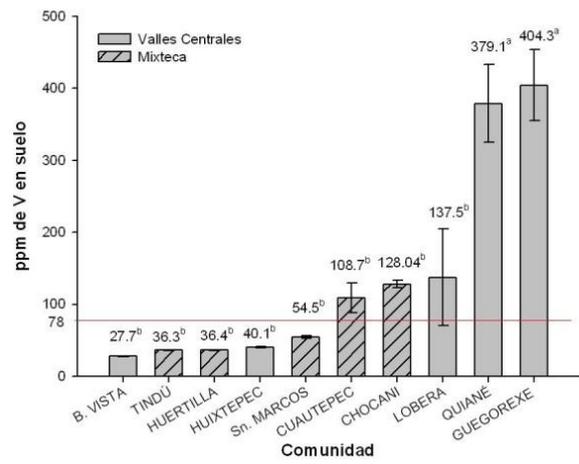
Las Gráficas 11 a 16 muestran las concentraciones de los minerales ultratraza. A continuación se explican cada uno de ellos:

Gráficas 11 - 16 concentraciones de los minerales ultratraza en suelo de las regiones Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña.





(15)



(16)

Literales diferentes en las barras indican diferencias estadísticas $P < 0.05$

Aluminio

Las concentraciones promedio de Al muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) entre comunidades. Todas las comunidades superaron el criterio de toxicidad (10 ppm de Al) reportado por Macnicol y Becket (1985). Además alcanzan el nivel crítico superior para el maíz o la cebada (38 y 65 ppm respectivamente) referidos por Macniol y Becket (1985). Por otra parte en todas las comunidades se registraron concentraciones mayores al criterio de toxicidad por aluminio en plantas (1-2 ppm de Al) referido por Acevedo-Sandoval *et al.* (2010). Por lo que en estas comunidades puede presentarse problemas de toxicidad de éste elemento, (Al^{3+}) que se presenta en mayor medida a pH menor a 5.5, y limitar una adecuada producción de forraje. Sin embargo la alta concentración de Calcio en suelos, Quiane, Chocani y San Pedro Guegorexe (Gráfica 1), y de otros cationes pueden neutralizar el efecto tóxico del aluminio (Vergara-Sánchez *et al.*, 2005, Marín-Garza *et al.* 2010). El Al en suelo forma compuestos con P, que lo hacen indisponible para las plantas, en consecuencia se puede presentar deficiencia de P secundaria a un exceso de Al (McDowell, 2003). Vergara-Sánchez *et al.* (2005) reportan en suelos de Oaxaca, a profundidades de 0-20 cm, concentraciones de Al de 1.7, 0.2 y 3.8 cmol/kg (21,590, 2,540 y 48,260 ppm respectivamente) concentraciones similares a las encontradas en suelos, de Chocani, la Lobera, Cuauteppec y Quiané. En suelos del noreste de USA Jones y Kochian (1996) reportan una concentración de aluminio elemental de 2 mol/kg (53,963 ppm de Al) que representa una alta concentración de este elemento misma que coincide con lo determinado en suelos de Valles Centrales.

Arsénico

La Gráfica 12 muestra la concentración de As en suelos de Oaxaca, se encontraron diferencias ($P < 0.001$) entre comunidades y entre regiones La comunidad de Sn. Pedro Guegorexe (13.19 ± 1.69) fue la que presentó una mayor concentración de este elemento en suelo, sin alcanzar el valor normal establecido para suelos agrícolas (22 ppm). Prieto-Mendez *et al.* (2009) indican que 30 ppm de As en suelo es una concentración aceptable y que 40 ppm o más es una concentración en la cual se requiere intervención por contaminación de Arsénico. La NOM 147 SEMARNAT 2004, establece como normal 22 ppm de As en suelos de uso agrícola y 260 ppm para suelos industriales. Por su parte Sheppard (1992) hace una

recopilación de concentraciones de Arsénico en suelo y reporta una amplia lista de concentraciones que son tóxicas para cierto tipo de plantas. Por ejemplo reporta una concentración tóxica para maíz de 10-2600 ppm, para pastos de 3.2-320 ppm, para soya de 12.5-84 ppm y para trigo de 1-1.5 ppm. En este contexto podemos decir que los suelos de este estudio contienen As en concentraciones que pueden generar un efecto tóxico en ciertos forrajes. En el estado de Oaxaca Bautista-Cruz y Arnaud-Viñas (2006) reportan concentraciones promedio de As de 4.9 y 9.5 ppm. En otro estudio Bautista-Cruz *et al.* (2011) reporta valores promedio de 4.8 y 6.7 ppm valores que coinciden con lo determinado en esta investigación. En el Estado de Hidalgo en la comunidad de Zimapán, Rico-Rodríguez *et al.* (2013) reportan concentraciones, en un área alta en As, de 0.726 ppm. Este mismo autor (Rico-Rodríguez *et al.* 2013) estudió suelos de Querétaro, México y reporta valores de 0.073 y 0.012 ppm, las concentraciones de As en suelos de este estudio superan dichos valores.

Cadmio

Las concentraciones de Cadmio se presentan en la Gráfica 13. Los resultados varían entre comunidades ($P < 0.0005$). En tres comunidades de la Mixteca (La Huertilla, San Marcos Arteaga, y Tindú) y dos de Valles Centrales (Buena Vista y San Pablo Huixtepec) no se detectaron Valores al momento del análisis, algo similar a lo que sucedió en suelos de Tabasco reportados por de la Cruz-Pons (2012). Por otra parte y con base en la NOM-021-RECNAT-2000 los valores determinados en Chocani se consideran por debajo de lo Normal (0.35 ppm) y en las comunidades de Quiané y San Pedro Guegorexe se encuentran en el límite tóxico (3 ppm) para plantas.

Bautista-Cruz *et al.* (2011) reporta concentraciones de 0.3 ppm de Cd en suelos de Oaxaca. Este valor que se asemeja a lo determinado en Chocani y superado por 40% de los valores registrados en esta investigación. En suelos de Hidalgo Siebe (1994) registró concentraciones de Cd de 0.57, 1.55, 0.78 ppm, concentraciones similares a lo que se determinó en suelos de Oaxaca (Gráfica 13). En Chihuahua en una región minera, Soraya *et al.* (2006) registraron valores superiores a los de este estudio, que fueron de 22-135 ppm de Cd a distancias de hasta 3 km de una presa de acumulación de desechos de la industria minera. Sin embargo después de 40 cm

de profundidad y a más de 1200 m de distancia a la presa este metal no se detectó Cd en suelo. Por otro lado en San Luís Potosí, Alcalá *et al* (2012) citan concentraciones de Cd en suelos agrícolas y mineros de 3.85 y 33 ppm respectivamente, mismas que coinciden con los valores de Quiané y Sn. Pedro Guegorexe al menos en su valor más bajo.

Litio

Las concentraciones promedio de litio en suelos se presentan en la Gráfica 14, En la comunidad de San Marcos Arteaga perteneciente a la Mixteca Oaxaqueña, no se registraron valores de Li al momento del análisis. Las concentraciones de litio superan el promedio de litio reportado por Kabata-Pendias (2010) para la mayoría de suelos del mundo (21 ppm), además el Li no es un elemento indispensable para las plantas, por lo tanto no existe un valor mínimo requerido por ellas para llevar a cabo funciones fisiológicas. Sin embargo una concentración de hasta 13 mg/l puede estimular su crecimiento. El Li resulta tóxico para las plantas en altas concentraciones y está toxicidad depende de la cantidad de Li soluble en el suelo y del tipo de planta. Al respecto Macnicol y Becket (1985) reportan valores de toxicidad de litio para diversas plantas, por ejemplo para la cebada, soya, pasto rodes es de 10, 25 y 25 ppm respectivamente. Aunado a este valor los mismos autores reportan un valor mínimo de concentración de Li en los tejidos de diversas plantas antes de mostrar toxicidad y por ejemplo en pasto rodes puede ser un valor tan alto como 2400 ppm o en cebada tan bajo como 4 ppm. En este sentido no podemos afirmar que las concentraciones de litio en el suelo de las comunidades estudiadas presenten un valor toxico de Li en los forrajes analizados. Si consideramos un valor crítico de 25 ppm (Macknicol y Becket, 2010) podemos afirmar que los suelos de esta investigación contienen valores que pueden afectar el desarrollo de los forrajes.

Níquel

La Gráfica 15 muestra los promedios de Níquel hallados en los suelos de Oaxaca. Todas las comunidades de la Mixteca, y 2 comunidades de Valles Centrales (Buena Vista y San Pablo Huixtepec) no se detectaron valores de Ni al momento del análisis. Las comunidades de La Lobera, San Pedro Guegorexe y Quiané rebasan el límite máximo total (420 ppm) para suelos contaminados por este elemento (USEPA,

1993 citado por de la Cruz Pons, 2012) además sobrepasan 100 ppm considerado potencialmente tóxico para algunos cultivos (NOM-021-RECNAT-2000) y son concentraciones que exceden el requerimiento (0.001 ppm) de Ni para las plantas (Prieto-Méndez *et al.*, 2009). En Valles Centrales de Oaxaca Bautista-Cruz y Arnaud-Viñas (2006) y Bautista-Cruz *et al.* (2011) registraron valores de Ni (10-30 y 19.6 ppm respectivamente). Por su parte de la Cruz-Pons (2012) reporta valores promedio de Ni en Tabasco de 5.3 ppm valores por debajo de los detectados en nuestras muestras. Agnieszka y Barbara (2012) mencionan que el Ni se encuentra en los suelos en promedio entre 4-50 ppm y puede ampliarse el rango de 3-150 ppm en suelos no contaminados por este elemento. Además ellos reportan valores en suelo de 4.96-20.49 ppm Por lo que podemos decir que las concentraciones de Ni determinadas en algunos suelos de Valles Centrales presentan concentraciones que coinciden con contaminación por Níquel.

Vanadio

Las concentraciones de Vanadio en suelo se presentan en la Gráfica 16, existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre comunidades. 50 % de las comunidades cubren el promedio de V para suelos de tipo agrícola (78 ppm) y están por debajo de la concentración para suelos industriales (1000 ppm) descrita en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. La baja concentración de Vanadio en 50 % de las comunidades se puede relacionar con que las áreas muestreadas son agostaderos en su mayoría montañas o lomerío al que no acceden vehículos. Ya que el hombre comúnmente contamina los suelos con combustibles fósiles y estos son una fuente rica en vanadio se puede atribuir esta baja concentración a este fenómeno. Así como a que los agostaderos naturales en los que el hombre no los fertiliza químicamente ni existe uso de herbicidas o fungicidas con este elemento. Es decir su liberación en el ambiente (contaminación) es por actividad o presencia humana. Sin embargo Rodríguez-Mercado y Altamirano-Rodríguez (2006) argumentan que la erosión del suelo es un factor que favorece la liberación de este elemento en suelos. El Vanadio es considerado un metal contaminante por lo que las investigaciones están enfocadas a determinar el impacto antropogénico en el suelo. En este sentido Mercado y Altamirano-Rodríguez (2006) refieren en suelos cercanos a zonas industriales concentraciones de 400 ppm de V, mientras que en México la CONABIO

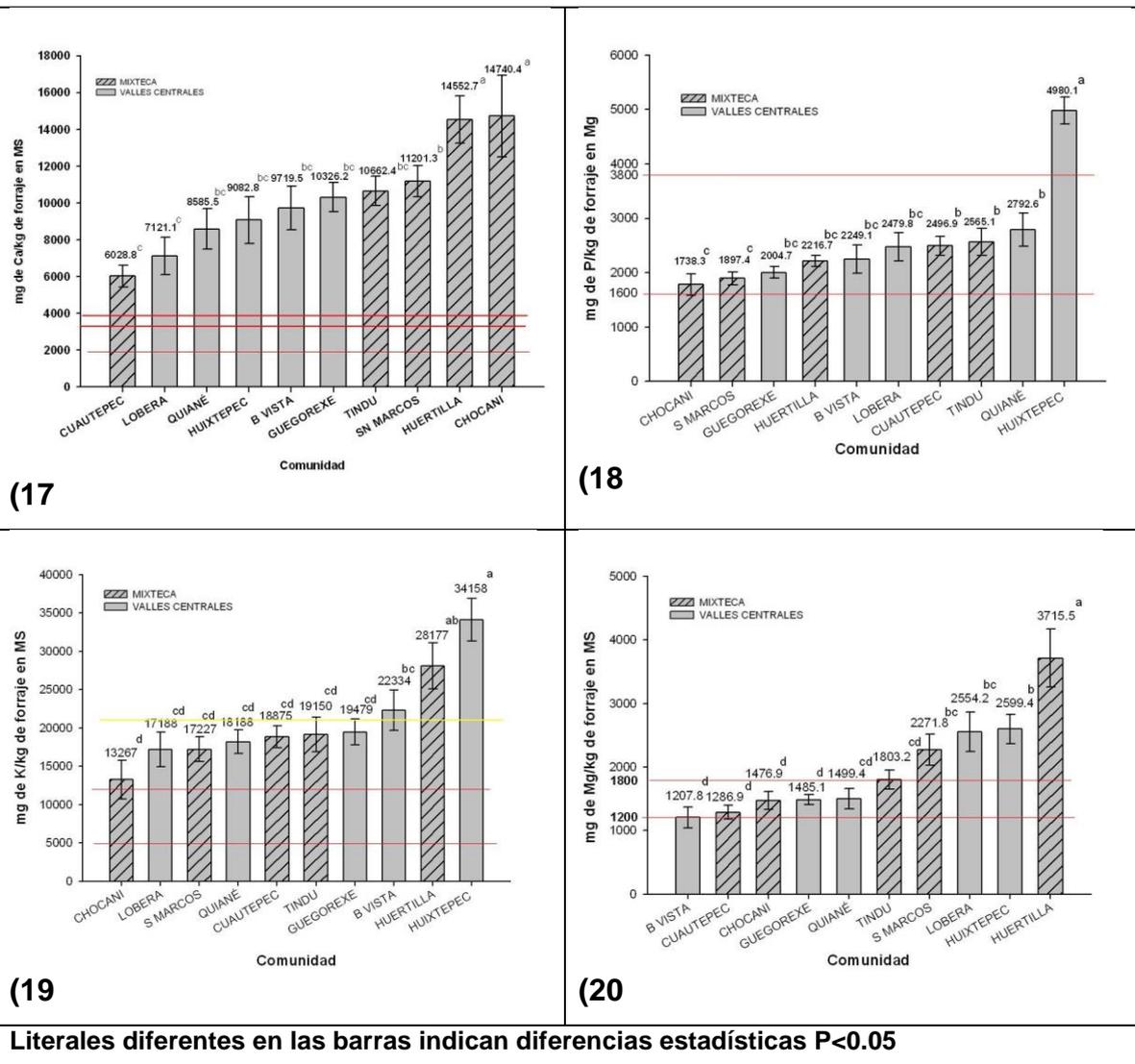
(2009) reporta promedios de V en suelos cercanos a industrias mineras de 105.9 mg/kg.

En Chihuahua, México Alcalá *et al.* (2009) analizaron dos tipos de suelo y encontraron valores de 8.64 ppm en zonas residenciales, mientras que en zonas de comercio las concentraciones fueron de 20.1ppm, inferiores a los valores determinados en esta investigación. Por otro lado en Polonia Agnieszka y Barbara encontraron valores inferiores (7.6-8.87 ppm) a los encontrados en este estudio. Por su parte en España, Nadal *et al.* (2004) citan valores inferiores (12.2 ppm) en zonas no contaminadas y en zonas industriales valores de 19.3 ppm.

7.4 Macroelementos en forrajes

Las gráficas siguientes muestran los resultados de algunos macroelementos en forrajes. A continuación se describen y discuten cada uno:

Gráficas 17-20 concentración de macroelementos en forrajes de las regiones de Valles centrales y Mixteca oaxaqueña.



Calcio

Las concentraciones de Calcio se presentan en la Gráfica 17, se encontraron diferencias estadísticas entre regiones ($P = 0.0070$) y entre comunidades ($P < 0.0001$). La NRC (2007) recomienda para cabras, de 40 kg de peso vivo, en diferentes estados fisiológicos, por ejemplo, mantenimiento, gestación avanzada (un producto), gestación avanzada (dos productos) cantidades de calcio en la ración de 1900 ppm, 3300 ppm y 3900 ppm respectivamente. Con base a estos requerimientos dictados por la NRC (2007) podemos decir que los forrajes de las comunidades en estudio no presentan deficiencias de éste elemento. Los forrajes de la Mixteca en general presentaron concentraciones más elevadas de Ca destacando en su concentración las comunidades de San Marcos Arteaga (11.2 g/kg de MS), La Huertilla (14.5 g/kg) y Chocani (14.7 g/kg); estos valores deberse a la mayor concentración de leguminosas muestreadas en comparación con Valles Centrales, al respecto McDowell (2003) señala que las leguminosas son significativamente mayores como fuente de calcio en comparación a los pastos y que las hojas lo contienen en mayor proporción que los tallos. Ramírez y col. (1991) en el Noreste de México hallaron consumos de Ca de 9-21.6 g/día con cabras en pastoreo lo que corresponde a 9.14 g/kg de materia orgánica (MO) y 20.88 g/kg de MO valores similares a los encontrados en este trabajo. Por su parte Ramírez-Orduña *et al.* (2008) también halló concentraciones de Ca similares (6-19g/kg) en cabras pastoreadas en Baja California Sur, México. Valores inferiores a los encontrados en esta investigación los reportan en Toluca Estado de México (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo 2012), en Acatlán, Hidalgo (Sánchez *et al.* 1997) en Choapan, Oaxaca (Gámez *et al.* 2009) con 3.4-4.7, 3.46-5.86 y 3.5-4.1 g/kg respectivamente. Valores aún más bajos y forrajes deficientes, de Ca, son reportados por Cabrera *et al.* (2009) en el estado de Quintana Roo (0.9-3.9 g/kg).

Fósforo

Las concentraciones de Fósforo se presentan en la Gráfica 18: Se encontró diferencia estadística ($P < 0.0001$) entre comunidades, específicamente los forrajes en la comunidades San Pablo Huixtepec, mostraron la mayor concentración (4980.18 ppm) de este elemento. Los forrajes analizados cumplen con las necesidades de P para cabras en mantenimiento (se considera una cabra de 40 kg

de PV, 1500 ppm (NRC, 2007)), además si consideramos que las cabras son mejores recicladoras de P en saliva (Meschy, 2000) es menos probable que exista deficiencia de este elemento. Cuando se considera una cabra de 40 kg de PV, en final de gestación y con doble producto (NRC, 2007) los requerimientos de P se incrementan a 2264 ppm, en este caso los forrajes en las comunidades de Chocani (1783.39 ppm), San Marcos (1897.49 ppm) y la Huertilla (2216.73 ppm), en la Mixteca, y Guegorexe (2004.78 ppm) en Valles Centrales, no alcanzan a cubrir el requerimiento citado por la NRC (2007); por lo que el desempeño productivo en estas especies se puede ver mermado. En cabras en inicio de lactancia requieren más nutrientes para producir de manera adecuada, en el caso de P para una cabra de 40 kg con dos cabritos las necesidades son de 2735 ppm (NRC, 2007). En estas circunstancias solo los forrajes de Quiané y San Pablo Huixtepec en Valles Centrales alcanzan a cubrir los requerimientos. Por lo que sin una suplementación de P al inicio de la lactancia reduce la productividad de las cabras en un 70 % de las comunidades de este estudio. McDowell (2003) señala que un 72.8 % de los forrajes de América Latina son deficientes en P (concentraciones < 2500 ppm) y señala que el límite para deficiencia de P es de 3000 ppm (0.30 %) para la mayor parte de especie en pastoreo. En este contexto podemos decir que la mayor parte de los forrajes analizados en esta investigación son deficientes de P. Por otro lado, Cabrera *et al.* (2009) reportan en Quintana Roo concentraciones de P en forrajes de 900-2100 ppm, y reporta deficiencias de P en un 89 % de sus forrajes; estos valores coinciden con las concentraciones determinadas en Chocani y San Marcos Arteaga y Guegorexe. En un estudio en Toluca, Edo. de México Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2007) hallaron concentraciones de P de 3200-4400 ppm valor superior a lo determinado en 90 % de los forrajes de las comunidades en estudio y solamente superado por los forrajes de San Pablo Huixtepec (4980.1 ppm) en Valles Centrales de Oaxaca: Esta alta concentración de P se puede atribuir a que en ésta comunidad las cabras pastorean en mayor proporción gramíneas con semilla. Ramírez *et al.* (2004) analizaron pastos en diferentes épocas del año en el noreste de México y refieren las mejores concentraciones en otoño con valores de 1200-3600 ppm mismos que corresponden a valores similares a los encontrados en este estudio. Estos investigadores indican que el P es uno de los minerales más limitantes en la producción para animales en pastoreo. En el estado de Hidalgo, Sánchez *et al.* (1997) reportan forrajes con concentraciones de 2948 y 3127 ppm en general

valores superiores a los determinados en esta investigación y superados únicamente por el forraje de Huixtepec.

Potasio

Las concentraciones de Potasio se presentan en la gráfica 19, hubo diferencia estadística ($P < 0.0001$) entre comunidades y todos los forrajes tuvieron los requerimientos de K en cabras (5-8 g/kg de MC, McDowell, 2003; 12 g/kg de MS, NRC, 2007). El máximo tolerable es de 20 g/kg en la dieta, sin embargo en las comunidades de Buena Vista (22334 ppm), La Huertilla (28177 ppm) y San Pablo Huixtepec (34158 ppm) se encontraron valores superiores a ésta concentración, al respecto la NRC (2007) refiere que los forrajes requieren entre 2 y 3.5 % (20,000-35,000 ppm) de su peso en MS para alcanzar su máximo desarrollo. Lo cual puede explicar las concentraciones halladas. Ramírez *et al.* (2004) reportan valores similares de K en verano de 4-40 g de K/kg de MS. Haenlein y Ramírez (2007) refiere concentraciones de 14 -22.1 g de K/kg de MS en la dieta seleccionada por cabras en pastoreo que coincide con un 80 % de los forrajes de las comunidades en estudio y por debajo de las concentraciones de K determinadas en los forrajes de la Huertilla (28.77 g/kg de MS) y San Pablo Huixtepec (34.158 g/kg de MS). Por su parte Ramírez-Orduña *et al.* (2008) en Baja California Sur con cabras en pastoreo reportan valores de 9-25 g de K/kg de MS siendo los valores más bajos en primavera. Sus resultados son consistentes con las concentraciones encontradas en este trabajo. Ramírez *et al.* (1991) quien encontró valores similares a los encontrados en Chocani, la Lobera y San Marcos y hallaron valores muy bajos en Diciembre (8.9 g/kg) y Enero (4 g/kg). En Quintana Roo, Cabrera *et al.* (2009) refieren valores de 19.6-21.1 g de K/kg de MS que coinciden con los valores de Tindu, Guegorexe y Buena Vista.

Magnesio

Las concentraciones de Magnesio se presentan en la gráfica 20: Los valores hallados son muy variables y se encontró diferencia estadística entre comunidades ($P < 0.0001$). Los requerimientos según la NRC (2007) y McDowell (2003) se encuentran entre 1200 y 1800 ppm, valores que se cumplen en todas las comunidades. Buena Vista (1207.8) y Cuautepec (1286.9) están en el límite de concentración por lo que excesos de K o Al en la dieta que interfieran con su

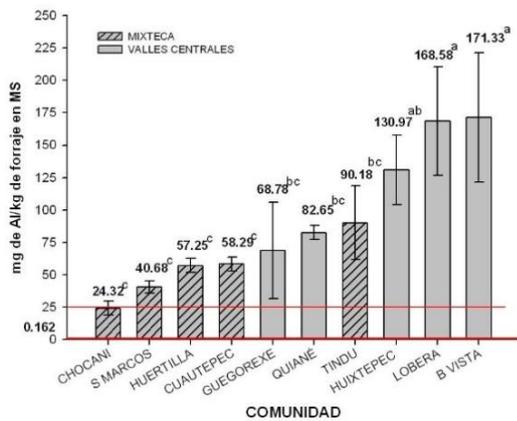
absorción pueden causar tetania de los pastos (hipomagnesemia), sobre todo en animales al final de gestación e inicio de lactancia donde los requerimientos de este elemento se incrementan a 1500 y 1800 ppm respectivamente (NRC, 2007). McDowell (2003) cita a trabajos en Alemania donde las praderas que son ricas en K y N, es decir en praderas de rápido crecimiento donde los forrajes deben contener de 3000-3800 ppm de Mg para reducir el efecto de competitividad de elementos. Aun cuando en los países Bajos establezcan 2000 ppm como el nivel de seguridad. En este caso que las comunidades de Guadalupe La huertilla y San Pablo Huixtepec resultaron forrajes altos en K y Mg, sus efectos tóxicos se pueden antagonizar gracias a los excesos de ambos elementos en los forrajes.

En Nuevo León, México Ramírez *et al.* (2004) reportan concentraciones de 1,000-5,000 ppm de Mg en pastos, valores que coinciden con los encontrados en este trabajo, solo *Cenchrus incertus* supero los valores (4,000 y 5,000 ppm). En su investigación Haenlein y Ramírez (2007) detectaron concentraciones de 1,000-1,800 ppm de Mg de muestras obtenidas de cabras con fistulas esofágicas. Estos valores coinciden con forrajes de 60 % de las comunidades muestreadas. En Baja California Sur Ramírez-Orduña *et al.* (2008) citan valores más altos durante todo el año de 3000-6000 ppm, solo los Forrajes en Guadalupe La Huertilla coinciden con las concentraciones inferiores reportadas en su estudio. Al Sur de México, en Quintana Roo, Cabrera *et al.* (2009) reportan valores bajos (200-600 ppm) de Mg en sus forrajes que no cubren las necesidades de dicho elemento en los animales. En Oaxaca Gámez *et al.* (2009) reportan valores de Mg de 1,376 ppm en lluvias y en estiaje de 2238 ppm valores similares a los encontrados en este trabajo.

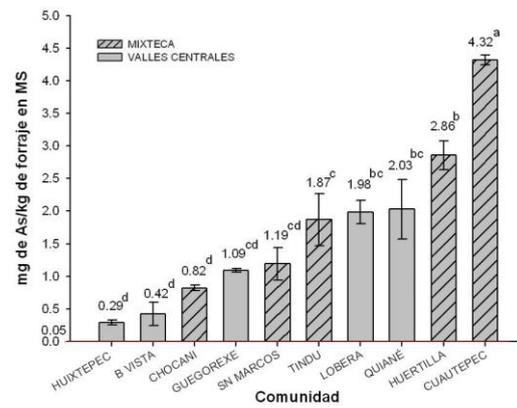
7.5 Elementos ultratraza en forrajes

Gráficas 21-26 concentraciones de los minerales ultratraza en forrajes de las regiones Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña.

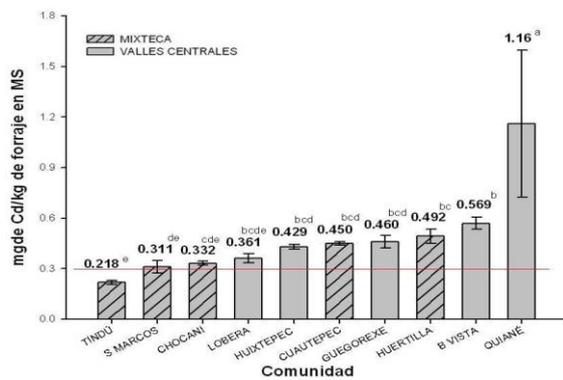
(21)



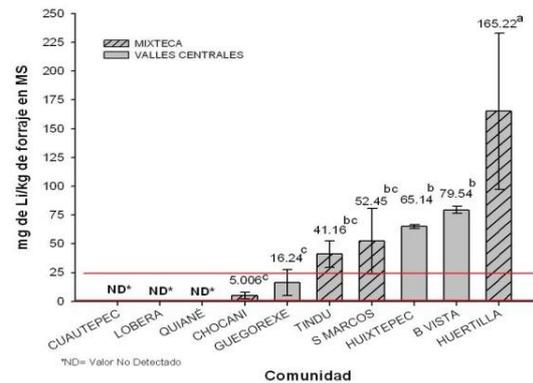
(22)



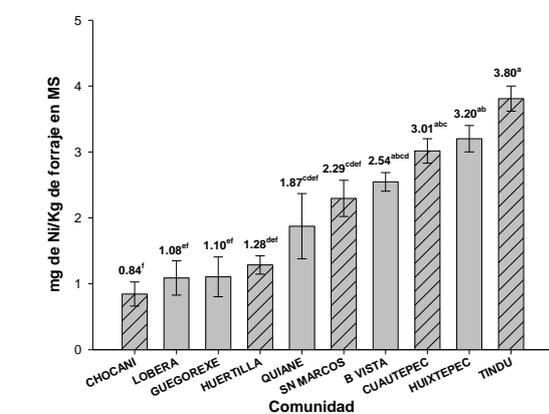
(23)



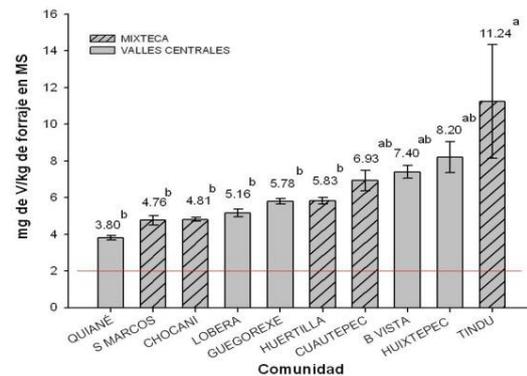
(24)



(25)



(26)



Literales diferentes en las barras indican diferencias estadísticas P<0.05

Aluminio

Los resultados de Aluminio en los forrajes se presentan en la Gráfica 21, se encontró diferencia estadística entre comunidades ($P = 0.0011$). Los forrajes en Valles centrales mostraron una mayor concentración de Aluminio. Haenlein y Anke (2011) reportan que en cabras que recibieron dietas con 0.162 ppm de Al se presentó una mortalidad de 44 % al compararla con dietas que contenían 25 ppm. Además se alteraron negativamente algunos parámetros reproductivos y productivos. Por lo que si tomamos en cuenta el contenido de Al en su dieta testigo como referencia (25 ppm) en la dieta podemos decir que 90% de los forrajes muestreados cubren con los requerimientos de éste elemento en cabras en pastoreo de Oaxaca.

El nivel tóxico de Al para ovinos es de 1,000 ppm (McDowell, 2003), éste mismo autor reporta que concentraciones de 500-1,000 ppm de Al en forraje puede causar toxemia de los pastos (McDowell, 2003), además Allen (1984) refiere que 1,400 ppm de aluminio en la dieta de ovinos como $AlCl_3$ reduce la absorción de P, pudiendo causar deficiencias de este metal. Con base a los resultados de este trabajo y considerando que en promedio los niveles más altos de Al (Buena Vista 173.31ppm) encontrados están 2.8 veces por debajo del valor requerido para causar deficiencia de Mg, y 8 veces por debajo del valor para interferir con la absorción de P. Se puede decir que los niveles de aluminio en los forrajes analizados se encuentran en concentraciones adecuadas.

En hojas de arroz Marin-Garza *et al.* (2010) reportan concentraciones de Al de 0.114 y 0.160 ppm valores muy por debajo de los encontrados en este trabajo. Por su parte de la Luz *et al.* (1996) encontraron valores similares (87, 125 y 132 ppm) de aluminio y superiores (494 ppm) en pasto *Lolium multiflorum cv.* en la región de Araucanía en Chile y encontraron que las concentraciones de 125 y 494 ppm afectaron la disponibilidad de P, Ca y Mg en los forrajes y, en consecuencia se afectó la productividad de los animales. Kabata-Pendias y Pendias (1986) reportan concentraciones de aluminio para leguminosas de 85-3470 ppm, mientras que para pastos cantidades de 60-14,500 ppm y en condiciones de alta concentración citan hipomagnesemia en animales. Esta misma autora refiere que la parte de aluminio más importante en la fertilidad de los suelos es la fracción móvil e intercambiable, la cual es fácilmente absorbida por las raíces de las plantas y causa un daño en las

raíces aunado a un estrés químico en la planta, así como interferir con la absorción de P, Ca, Mg, K y N. La movilidad de Al está relacionada con el pH Kabata-Pendias y Pendias (1986) citan que en suelos con pH neutro se pueden encontrar 400 µg /L de Al disponible y en suelos de pH 4 se pueden encontrar 5,700 µg/ L de Aluminio intercambiable.

Arsénico

Los promedios de concentración de Arsénico en forrajes se presentan en la Gráfica 22, se encontró diferencia ($P < 0.0001$) entre regiones y entre comunidades ($P < 0.0001$). Las concentraciones halladas en este estudio cumplen y sobrepasan el requerimiento mínimo establecido para cabras (50 µg/kg) citado por Haenlein y Anke (2011). Kabata-Pendias y Pendias (1986) refieren concentraciones de As de 0.280-0.330 ppm en pastos, valores similares a los encontrados en Buena Vista (0.290 ppm) y San Pablo Huixtepec (0.420 ppm). Éstos autores aseguran que en las plantas se pueden encontrar daños en hojas de árboles frutales cuando la concentración de As está en el orden de los 2.1-8.2 ppm que corresponden a valores encontrados en forrajes de La Lobera, La Huertilla, Quiané y Guadalupe Cuautepéc. Además estos mismos autores indican que concentraciones superiores a 4 ppm reducen en los forrajes las concentraciones de Mn, P y Ca. Sheppard (1992) elaboró una recopilación de concentraciones de As en forrajes y plantas de consumo para el humano en las que encontró datos muy variables por ejemplo en la cebada (20 ppm), en maíz (1-35 ppm), en pastos (2-4 ppm), en soya 1 ppm y concentraciones extremas de 350 y 950 ppm en papas y rábano respectivamente. Este autor refiere que son valores hallados en suelos de alta concentración de As (> 20 ppm) además concluye que la forma inorgánica de Arsénico es menos tóxica que la forma orgánica y en suelos arenosos la forma inorgánica es 5 veces más tóxica que en suelos alcalinos. En garbanzo que creció en condiciones de experimentación en suelo con arsénico Rico-Rodríguez *et al.* (2013) hallaron valores de 4.5 ppm de As para suelos de Zimapán, Hidalgo, valores similares a los encontrados en Guadalupe Cuautepéc, Oaxaca (4.32 ppm) y además refieren para garbanzo que creció en suelos de Querétaro valores de 0.00047 ppm que son concentraciones muy inferiores a las encontradas en este estudio.

Cadmio

Las concentraciones de cadmio se presentan en la Gráfica 23, se encontraron diferencias estadísticas entre comunidades ($P < 0.0001$), la comunidad de Santa Catarina Quiané fue la comunidad con mayor concentración de Cd (1.16 ppm), el NRC (2007) establece que el mínimo requerimiento de Cd en la ración para cabras es de 0.3 ppm. Bajo esta premisa podemos decir que los forrajes de Tindú son deficientes de Cd mientras que los forrajes de las demás comunidades cumplen con la concentración requerida para cabras. La solubilidad del Cd está influenciada por el pH del suelo, Mientras que la absorción de este elemento por las raíces de la solubilidad del Cd, su concentración en el medio, de la presencia de MO, el potencial redox, la temperatura, la interacción y concentración de otros elementos, la salinidad, intensidad de luz, el nivel de oxígeno, el pH, y en este último las plantas secretan sustancias que acidifican el suelo incrementando la disponibilidad de algunos elementos (García *et al* 2012). En suelos ácidos 4.4-5.5 es más soluble mientras que a pH alcalinos la solubilidad se reduce. Kabata-Pendias y Pendias (2001), mencionan que el Cadmio no es un elemento indispensable para las plantas, y que, por el contrario a concentraciones mayores a 5 ppm es un elemento tóxico para ellas. Además mencionan que los forrajes en promedio contienen de 0.05-0.2 ppm de Cd. En suelos contaminados por Cadmio se pueden hallar concentraciones de 1-1.6 ppm. García *et al.* (2012) estudiaron la concentración de Cd en haba cultivada en suelo que contenía 4.1 ppm de Cd, y encontraron que la raíz acumula más Cd y en seguida las hojas y tallo de las habas. En las hojas reportan concentraciones de 2.2 ppm de Cd. Valores muy superiores a los determinados en esta investigación. Martin *et al.* (1996) trabajaron con plantas bioindicadoras de contaminantes en el suelo en Carolina del Sur, en hojas determinaron concentraciones de Cd de 1.1, 1.4, 1.6, 2.4 ppm. Cuando utilizaron *Erigeron canadensis* L. (1.1 ppm) coincide con lo determinado en Santa Catarina Quiané, y los otros valores superan las concentraciones determinadas en este trabajo. En la zona del Valle del Mezquital, Hidalgo, Vázquez-Alarcón *et al.* (2001) determinaron concentración de Cd en forrajes irrigados con aguas residuales. Las concentraciones fueron 1.86, 1.05 y 0.57 ppm de Cd en MS para maíz, alfalfa y trigo respectivamente. Las cantidades que hallaron estos investigadores en alfalfa y trigo coinciden con lo determinado en forrajes de Quiané y B. Vista.

Litio

Las concentraciones de Litio se presentan en la Gráfica 24, se encontraron diferencias estadísticas entre comunidades ($P < 0.0001$), los forrajes de la Huertilla resultaron con la mayor concentración de Li (165.22 ppm). Al momento del análisis no se detectaron valores de Li en los forrajes de Gpe. Cuatepec, La Lobera y Sta. C. Quiané. Haenlein y Anke (2011) citan estudios en los que se alimentaron cabras con raciones deficientes en Li y raciones con una concentración “adecuada” (control), esta última contenía 22 y 24 ppm de Li/kg de MS. Si consideramos 24 ppm como “adecuado” para las cabras podemos decir que 50 % de los forrajes no cumplen con el requerimiento y las cabras pueden estar padeciendo deficiencias de Li. Figueroa *et al.* (2013), en el norte de Chile reportan concentraciones de Litio de 6-46 ppm en forrajes del Altiplano, en Camarones de 32.3- 62.8 en Alfalfa, además hallaron concentraciones de 193.4 y 201.4 ppm en acelga. Jaddadin *et al.* (2002) en Jordania determinaron Li en *Sorghun multicolor* y en *Trifolium alexandrinum* y refieren concentraciones de 58.8 y 183 ppm respectivamente. En ambas investigaciones sus resultados coinciden con las concentraciones determinadas en los forrajes de este estudio. Figueroa *et al.* (2013) en algunas de las muestras analizadas, no detectaron concentraciones de Litio.

Níquel

Las concentraciones promedio de Níquel determinadas en forrajes consumidos por cabras de Oaxaca se muestran en la Gráfica 25. El NRC (2007) reporta que valores de 10 ppm de Ni en la ración de caprinos mejora parámetros productivos, y refiere que en ovinos y bovinos el máximo tolerable de Ni es de 100 mg/kg de MS. Todos los forrajes analizados, en las 10 comunidades del estudio, no cumplen con los requerimientos de Ni para cabras Vázquez-Alarcón (2001) refieren concentraciones de Ni en forrajes de 0.5-1.9 mg/kg en comunidades de Hidalgo, Martín *et al.* (1996) registran concentraciones de 2.7-4.3 ppm en hojas de forrajes indicadores de contaminación de suelo por este elemento. Chen *et al.* (2009) mencionan que la mayoría de los forrajes contienen de 0.05-10 mg/kg de Ni en MS y que generalmente las plantas son deficientes en este elemento, excepto cuando existen suelos contaminados. Este elemento es tóxico para las plantas dependiendo de la especie,

en plantas sensibles concentraciones > 10 ppm, medianamente sensibles > 50 ppm y plantas acumuladoras > 1000 ppm (Chen *et al.*, 2009).

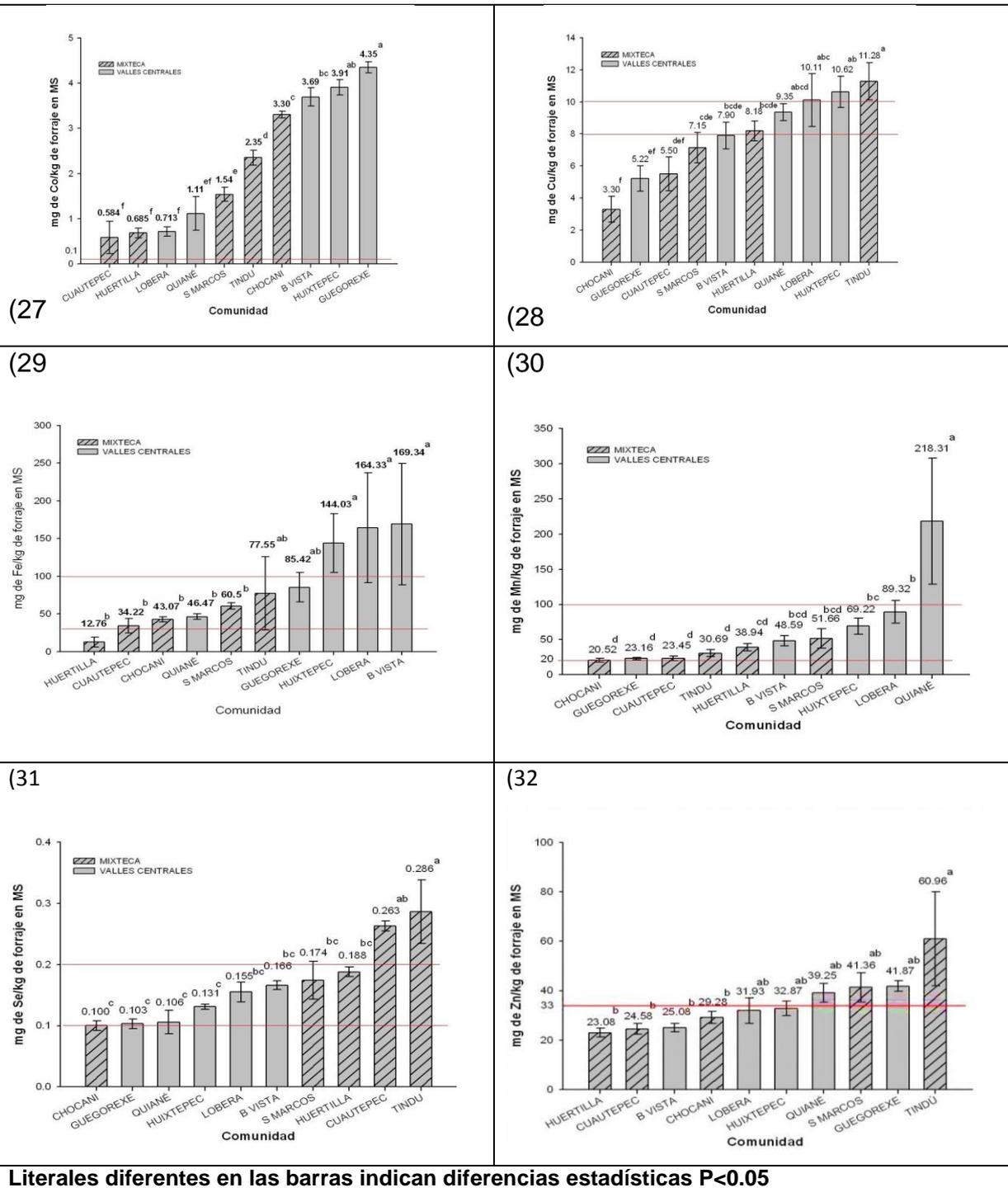
Vanadio

Las concentraciones de Vanadio en los forrajes se muestran en la Gráfica 26. El análisis estadístico no mostró diferencias entre comunidades ($P = 0.071$). Numéricamente los forrajes de Tindú en la Mixteca Oaxaqueña fueron los de mayor concentración de Vanadio. Haenlein y Anke (2011) refieren que una ración para cabras debe contener 2 ppm de V para evitar problemas por carencia de este elemento y el NRC (2007) que los requerimientos para caprinos es de 10-25 ppb con un máximo tolerable de 50 ppm. En este contexto podemos mencionar que los forrajes analizados en esta investigación cumplen netamente con las necesidades de V para cabras. Además se encuentran en concentraciones que no alcanzan el límite tóxico para este elemento según los estándares actuales.

7.6 Microelementos en forrajes

Los microelementos de forrajes se muestran y discuten a continuación:

Gráficas 27- 32 concentración de microelementos en suelos de las regiones de Valles centrales y Mixteca oaxaqueña



Cobalto

Las concentraciones de Cobalto se presentan en la Gráfica 27, todas las muestras cumplen con el mínimo requerido de Co para cabras 0.1-0.2 ppm (McDowell, 2003; NRC, 2007; Meschy, 2000) y la concentración más elevada (4.35 ppm) no alcanza el límite de toxicidad para este elemento 10 ppm (NRC, 2007). En el análisis de los resultados se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.0001$) entre comunidades. La comunidad de San Pedro Guegorexe es la de mayor concentración (4.35 ppm) de Co en sus forrajes.

Mayland y Shewmaker (2001) sugieren que la concentración de Co en gramíneas es de 0.05-0.3 ppm y de 0.2-0.3 ppm para leguminosas. En alfalfa Gupta (1993) reporta concentraciones de 0.030-0.42 ppm de Co y en pasto timothy de 0.012-0.24 ppm de Co. En Queensland, Australia, Barry (1984) analizó leguminosas y gramíneas en las que las concentraciones de Co estuvieron entre 0.01-0.35 ppm. Por su parte Gartengberg *et al.* (1990) en el noreste de México determinaron una concentración de Co de 0.24 ppm (Nuevo León), 0.26 ppm (Zacatecas) y 0.71 ppm (Coahuila) aun cuando no encontraron deficiencias, los valores de estas investigaciones son bajos al compararlos con las concentraciones del presente estudio.

Cobre

Las concentraciones de Cobre en los forrajes se presentan en la Gráfica 28, se encontró diferencia estadística entre comunidades ($P < 0.0001$) los forrajes en las comunidades de Chocani, G. Cuautepec y Sn. Marcos Arteaga en la Mixteca, así como Sn. Pedro Guegorexe y Buena Vista en Valles Centrales muestran deficiencias de Cu. Mientras que, el resto de comunidades presentan valores adecuados pues cumplen con el requerimiento para cabras (8-10 ppm) citado por Meschy (2000) y el NRC (2007). El Cobre es un elemento que en condiciones de acidez del suelo forma complejos fácilmente solubles, sin embargo interactúa con los componentes minerales (Mo, Fe, Al, Mn) y materia orgánica (ácidos húmico y fúlvico) del suelo y arcilla, también precipita fácilmente con sulfatos, carbonatos, hidróxidos y silicatos, es por estas razones que el Cu es de los elementos menos móviles en el suelo y su concentración total, en suelo, explica poco sobre su absorción por las plantas (Kabata-Pendias y Pendias, 1986). Bajo estas premisas no es fácil explicar la deficiencia de Cobre en las plantas, ni se puede atribuir a un factor.

Haenlein y Ramírez (2007) determinaron concentraciones promedio, de Cu en forrajes de Nuevo León, México, de 11.1 y 36.6 ppm; Ramírez *et al.* (2004) en gramíneas encontraron valores de 4-58 ppm de Cu ambas investigaciones con concentraciones altas de este elemento en los forrajes y superiores a las determinadas en este estudio. En Baja California Sur, Ramírez-Orduña *et al.* (2008) determinaron concentraciones similares, de 6-10 ppm, a las halladas en las comunidades de Oaxaca. En el centro y sur del País Domínguez-Vara y Huerta Bravo (2008) y Cabrera *et al.* (2009) encontraron valores de Cu bajos en los forrajes en Toluca de 0.69-2.15 ppm y en Quintana Roo de 3, 5 y 11 ppm este último reporta deficiencia en 88 % de sus forrajes mientras que Domínguez-Vara y Huerta-Bravo indican deficiencia de Cobre en todas las muestras. Aún con deficiencias los forrajes de Oaxaca tienen mayor cantidad de Cu que los forrajes analizados en Toluca y son similares en cantidades que los de Quintana Roo. Por su parte Gámez (2009) en Oaxaca refiere concentraciones en tres ranchos de San Juan del Rio, Choapan de 4.6, 5.3 y 7.0 ppm concentraciones deficientes de Cobre similares al 50 % de los forrajes en las comunidades de Mixteca y Valles Centrales de Oaxaca (gráfica X)

Hierro

Las concentraciones de hierro se presentan en la Gráfica 29, no se encontraron diferencias estadísticas entre comunidades ($P=0.071$), a pesar de existir diferencias numéricas. En general los Forrajes de Valles Centrales tuvieron mayores concentraciones de Hierro. Los forrajes de la huertilla resultaron ser deficientes en Hierro al no cumplir con el requerimiento de este metal en la dieta (30-50 ppm NRC, 2007) y muy por debajo del requerimiento establecido por el NRC (2007), de 100 ppm cuando los animales presentan una alta carga parasitaria. Si contrastamos nuestros resultados con este valor (100 ppm) únicamente los forrajes de las comunidades de Sn. Pablo Huixtepec, La Lobera y Buena Vista cumplen con este parámetro. La deficiencia de Hierro en las plantas se asocia a suelos calcáreos, alcalinos o suelos manganíferos (Gupta, *et al.*, 2001), a pH alcalinos se reduce la solubilidad del Hierro que lo hace no disponible para las plantas (Kabata-Pendias y Pendias, 1986).

Ramírez-Orduña *et al.* (2008) observaron en cabras en pastoreo en el desierto, la concentración de hierro de 136-452 ppm. Estos valores son similares a la concentración de la Primavera (149 ppm) y final del verano (136 ppm) con las determinadas en los forrajes de Huixtepec (144.03 ppm), La Lobera (164.33 ppm) y Buena Vista (169.34 ppm). Por su parte Ramírez *et al.* (1991), Ramírez *et al.* (2004) y Haenlein y Ramirez (2007), en el Norte del País con cabras en pastoreo y Domínguez-Vara y Huerta Bravo (2008), en Toluca, determinaron concentraciones minerales superiores a las de nuestra investigación 266-731.9 ppm, 174.1-755.6 ppm, 144-986 ppm, 255-807 ppm respectivamente. En el Estado de Hidalgo Sánchez *et al.* (1997) encontró deficiencias de Fe (40.57 ppm) en forrajes pastoreados por bovinos, sin embargo, estas concentraciones pueden resultar adecuadas para ovinos y cabras según los requerimientos establecidos por el NRC, (2007), y corresponden a concentraciones similares a las muestras analizadas en este trabajo.

Manganeso

Las concentraciones de Manganeso se muestran en la Gráfica 30, se encontraron diferencias ($P < 0.0001$) entre comunidades destacando Santa Catarina Quiané con la mayor concentración de Mn 218.31 ppm en promedio. Según el NRC (2007), existe controversia en establecer la concentración adecuada de Mn para las cabras, este instituto sugiere que las concentraciones deben ser 20-25 ppm, por su parte Meschy (2000) establece que deben ser de 40-50 ppm, y el NRC (2007) cita a Lamand, (1981) quien sugiere que la concentración debe ser de 60-120 ppm. Si consideramos 20 ppm como el requerimiento mínimo establecido podemos decir que 100 % de las comunidades cumplen con el requerimiento para cabras. Los Forrajes de Chocani, Sn. P. Guegorexe y Gpe. Cuahutepec, contienen Mn en el límite establecido, así como los forrajes de Tindu y La Huertilla pueden tener deficiencias de este elemento, si consideramos las necesidades para cabras establecidas por Meschy, (2000). Kabata-Pendias y Pendias (1986) mencionan que los suelos bien drenados y los suelos ácidos contienen mayor concentración de Mn soluble. En suelos alcalinos la solubilidad del Mn se puede incrementar cuando este forma compuestos aniónicos y compuestos con ligandos orgánicos (ácido fúlvico).

En Nuevo León, en condiciones de matorral Domínguez *et al.* (2012), hallaron concentraciones de Mn en arbustivas y herbáceas de 49 y 58.33 ppm. Que coinciden con lo encontrado en los forrajes de Buena Vista y Sn. Marcos Arteaga. En la misma zona Ramírez *et al.* (2004) y Haenlein y Ramírez (2007) reportan en pastos concentraciones de Mn de 54-148 ppm y plantas consumidas por cabras de 46.1 y 76.9 ppm respectivamente, estas concentraciones coinciden, en contenido de Mn, con 50% de las muestras de forrajes colectadas en esta investigación. En la zona del llamado desierto sonorenses Ramírez-Orduña *et al.* (2008) determinaron concentraciones de Mn en forrajes consumidos por cabras en pastoreo y reportan a lo largo del año valores de 54-144 ppm, que corresponden con las cantidades determinadas en Sn. M. Arteaga, Huixtepec y La Lobera. En Oaxaca Gámez *et al.* (2009) determinaron concentraciones de 190 y 120 ppm, valores que superan un 90 % de los forrajes de esta investigación y su mayor concentración (190 ppm) determinada en la temporada de estiaje se asemeja a lo hallado en los forrajes de Sta. Catarina Quiané (218.31 ppm).

Selenio

Las concentraciones de Selenio se presentan en la Gráfica 31, se encontró diferencia estadística entre comunidades ($P < 0.0001$). Ramírez-Bribiesca *et al.* (2001) reportan un valor crítico de Se para cabras de 0.1 ppm en forrajes, y el NRC (2007) argumenta que las cabras son más susceptibles a padecer distrofia muscular nutricional. Bajo esta premisa podemos argumentar que solo los forrajes de G. Cuahutepec y Tindú en la Mixteca presentan concentraciones adecuadas de Selenio, mientras que el resto de forrajes tienen concentraciones críticas y que las cabras son susceptibles a padecer deficiencia de Selenio.

La disponibilidad de Selenio en las plantas se relaciona directamente con el pH y tipo de suelo. Los suelos ácidos, suelos gley (suelo gris verdoso predominantemente inundado, con alto contenido de hierro) y suelos con abundante MO, contienen selenidos (Se^{2-}) poco disponibles para las plantas. Además los suelos cercanos a la neutralidad, contienen selenitos (Se_3^{2-}) solubles que reaccionan fácilmente con óxidos e hidróxidos de Hierro que los hace indisponibles para los forrajes. Por el contrario en suelos alcalinos y aireados, comúnmente predominan los selenatos (SeO_4^{2-}) que son altamente solubles para las plantas, bajo estas condiciones es poco

común que se fijan con óxidos férricos (Kabata-Pendias y Pendias 1986; Mayland, 1985). Estos autores citan que 45 % del Selenio en los suelos suele ser disponible para las plantas. Además del Hierro, el Azufre, el Fósforo y Nitrógeno pueden reducir la absorción de selenio en las plantas.

Ramírez-Bribiesca *et al.* (2001) en el altiplano mexicano (Tlaxcala, México) reportan forrajes deficientes en selenio, en las que determinaron concentraciones de 0.052 y 0.075 ppm de Se en promedio, ambos por debajo de lo encontrado en este estudio. En Arizona, USA, Sprinkle *et al.* (2006) analizaron forrajes en los que encontraron deficiencias de Se durante tres años consecutivos, las concentraciones fueron 0.042, 0.079 y 0.045 ppm. En Filipinas Serra *et al.* (1996) describen valores de Se en forrajes de 0.01-0.035 ppm y de 0.0094-0.07 ppm que corresponden a deficiencias. Gartengberg *et al.* (1990) estudiaron la concentración de Se en forrajes de Nuevo León (0.20 ppm), Zacatecas (9.63 ppm) y Coahuila (0.69 ppm) en las que los forrajes de Zacatecas resultaron con concentraciones tóxicas de este elemento. Solo las concentraciones determinadas en Cuauhtepic y Tindú son similares a las de los forrajes de Nuevo León.

Zinc

Las concentraciones de Zinc se presentan en la Gráfica 32, Los forrajes de Sta. María Tindú numéricamente resultaron ser los de mayor concentración de Zinc (60.96 ppm), sin embargo el análisis estadístico entre comunidades no mostró diferencia estadística ($P= 0.2115$). A pesar de ello existió diferencia entre los forrajes de Tindú y los de la Huertilla, Cuauhtepic, Buena Vista y Chocani. Underwood (1983) sugiere que la dieta debe contener 30 ppm de Zn para evitar deficiencias. Sin embargo el NRC (2007) plantea que la dieta para cabras debe proporcionar entre 33 mg/kg de MS y 80 mg/kg de MS cuando existe presencia de elementos antagónicos en la dieta. Meschy (2000) propone que la dieta para cabras debe cubrir 50 ppm. Considerando 33 mg/kg de MS como requerimiento podemos aseverar que el forraje de 60% de las comunidades no cumple con este requerimiento por lo que las cabras pueden mostrar deficiencia de este elemento. Si consideramos como requerimiento 50 ppm únicamente los forrajes de Santa María Tindú (60.96 ppm) cumplen con los requerimientos y 90% de los forrajes presentan deficiencias de Zn. Kabata-pendias y pendias (1986) mencionan que a pH inferiores a la neutralidad se reduce la

absorción de Zn, y que suelos arcillosos y de abundante materia orgánica reducen la disponibilidad de este metal. Además un exceso de Fe, Ca y P en suelo reducen la absorción de Zn en los forrajes. El Zn en el suelo reacciona fácilmente con los óxidos e hidróxidos de hierro que reducen su solubilidad. Además puede reaccionar con los silicatos y formar compuestos insolubles.

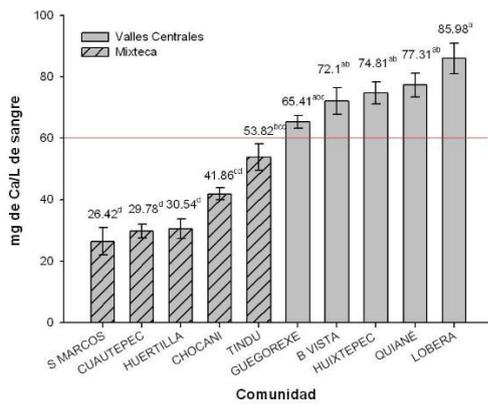
Gartengberg *et al.* (1990) determinaron concentraciones de Zinc en forraje en el norte de México los valores fueron 34.43, 20.82 y 30.05 ppm. Por su parte Ramírez *et al.* (2001) hallaron un promedio anual de 17-50 ppm de Zn en arbustivas pastoreadas por cabras. En la zona norte de México Ramírez *et al.* (1991), Haenlein y Ramírez (2007), Ramírez-Orduña *et al.* (2008) han estudiado la composición mineral de las arbustivas pastoreadas por cabras y en cuanto a Zn los resultados son los siguientes 21.7-72.1, 33.9-50.3 y 22-43 ppm respectivamente. Los resultados de estos investigadores en el Norte de México coinciden con lo determinado por Domínguez-Vara y Huerta-Bravo en los forrajes de Toluca y con lo reportado por Cabrera *et al.* (2009) en Quintana Roo y a su vez son resultados que concuerdan con los Valores de Zn determinados en este estudio con forrajes en Oaxaca. Por otro lado Ramírez *et al.* (2004) determinaron concentraciones mayores de Zn con gramíneas en Nuevo León de 72-152 ppm.

7.7 Macro elementos en sangre

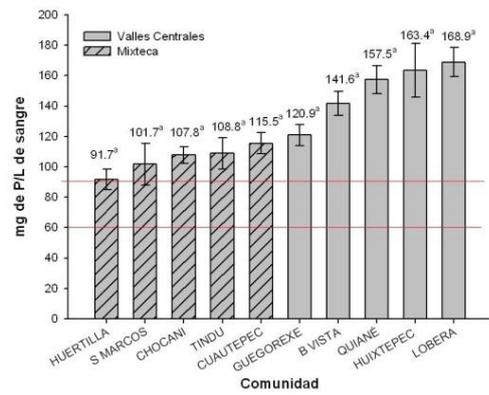
Las gráficas siguientes describen las concentraciones de los macroelementos en sangre. A continuación se describen cada uno de ellos:

Gráficas 33-36 concentración de macroelementos en sangre de cabras de las regiones de Valles centrales y Mixteca oaxaqueña.

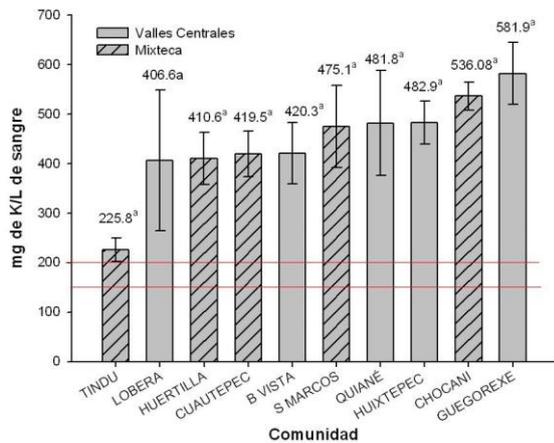
(33)



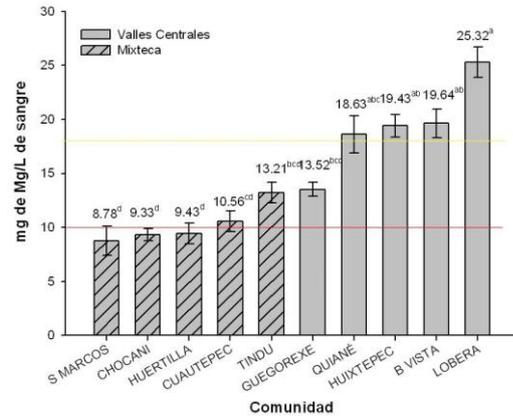
(34)



(35)



(36)



Literales diferentes en las barras indican diferencias estadísticas $P < 0.05$

Calcio

Las concentraciones de Calcio en sangre se presentan en la Gráfica 33, se encontraron diferencias entre comunidades y regiones. En la región de Valles Centrales se registraron las mayores concentraciones de Ca. Las cabras de la Huertilla, Cuauhtepic y Sn. Marcos Arteaga, fueron las de menor concentración. Youde (2002) menciona que las concentraciones normales de Calcio en sangre completa se encuentran entre 60-112 mg/L. Olmedo-Juárez (2012) reporta concentraciones de Ca de 78-98.5 mg/L y 83.6-112 mg/L para cabras del estado de México en época de seca y lluvia respectivamente. Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) en Toluca, reportan en suero de ovejas concentraciones de 105-119 mg de Ca/L. Por otro lado, Haenlein y Anke (2011) con cabras deficientes en flúor y cabras control mencionan que se registraron unas concentraciones de Ca de 93.38 y 101.8 mg/L, en estas investigaciones registraron mayores concentraciones con respecto a los determinados en este estudio. Por su parte Youde (2002) determinó en cabras concentraciones de 58.3 y 172.8 mg/L.

Fósforo

Las concentraciones de Fósforo se presentan en la Gráfica 34. No se encontraron diferencias entre comunidades. Numéricamente las cabras de Valles Centrales tuvieron mayor concentración de Fósforo destacando las cabras de Huixtepec y la Lobera. Olmedo-Juárez (2012) reporta concentraciones de P en sangre de cabras no lactantes de 30.5-32.9 mg/L en seca y de 34.6-47.9 mg/L de suero en temporada de lluvia. Sowande *et al.* (2008) determinaron en cabras concentraciones séricas de P de 105.62 y 115.84 mg/L. Domínguez-Vara y Huerta Bravo (2008) en ovinos reportan en suero 102-146 mg/L. Härter *et al.* (2015) reportan concentraciones de 61.94 y 64.11 mg de P/L de suero. Ahmed *et al.* (2000) reportan concentraciones de 63, 23 y 41 mg/L en cabras de primer, segundo y tercer parto respectivamente. Las concentraciones determinadas por Sowande *et al.* (2008) y Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) son las que concuerdan con las concentraciones registradas en nuestra investigación. Las concentraciones de Fósforo en sangre se pueden explicar debido a que los forrajes presentaron concentraciones adecuadas de P y además como lo menciona Meschy (2000) las cabras son mejores recicladoras de Fósforo en saliva.

Potasio

Las concentraciones de Potasio en sangre se muestran en la Gráfica 35. No se encontraron diferencias entre comunidades. La NRC (2007) menciona que las concentraciones normales de Potasio en sangre se encuentran entre 150-200 mg/L. En nuestro estudio las cabras mostraron concentraciones mayores al rango establecido por el NRC (2007).

Olmedo-Juárez (2012) reporta concentraciones de Potasio en sangre de cabras no lactantes de 173.1-295 mg/L en seca y de 185-258.4 mg/L de suero en temporada de lluvia. Härter *et al.* (2015) reportan concentraciones de K de 170.8 y 165.7 mg/L en cabras en ayuno y post-alimentación respectivamente. Sowande *et al.* (2008) con cabras donde tomo en cuenta el sexo de los caprinos y la época del año registraron concentraciones de 208-233 mg de K/L de suero sanguíneo. Domínguez-Vara y Huerta-Bravo en ovejas en pastoreo hallaron concentraciones de 258-283 mg/L. En nuestro estudio las cabras presentaron concentraciones mayores a lo reportado como normal de Potasio en sangre. Sin embargo como cito previamente existen estudios que reportan valores superiores a los considerados normales por la NRC (2007).

Magnesio

Las concentraciones de Magnesio se presentan en la Gráfica 36. Se encontraron diferencias entre comunidades, y regiones. Las cabras de Valles centrales registraron mayores concentraciones de Mg comparadas con las de la mixteca. Khan *et al.* (2008) citan que la concentración mínima de Magnesio en sangre debe ser de 20 mg/L y McDowell 2003 menciona que en suero se encuentra entre 20 y 40 mg/L. En este contexto podemos decir que únicamente en las cabras de La Lobera en Valles Centrales se registraron concentraciones que cumplen con este parámetro. Mientras que en las comunidades de Buena Vista y San Pablo Huixtepec se encuentran ligeramente por debajo del límite inferior. El resto de las cabras muestran hipomagnesemia.

McDowell (2003) menciona que la proporción de magnesio absorbida es menor cuando se incrementan los niveles en la dieta, también depende del estado del mineral en el animal, sus reservas corporales, de este modo se incrementan o

reduce su absorción. Además altas concentraciones de Ca y P reducen la absorción intestinal de este elemento. El Ca y Mg compiten por sitio de absorción en intestino delgado. El Magnesio con el Fósforo forman compuestos insolubles; la grasa en la dieta también reduce su absorción. En forrajes jóvenes y exuberantes hay exceso de proteína y K que reducen la absorción de Mg. Un exceso de Fe también tiene efectos detrimentales en la absorción de Mg. La solubilidad del Mg se redujo de 80-20 % cuando el pH de rumen se incrementó de 5 a 7 que coincide con raciones a base de forrajes.

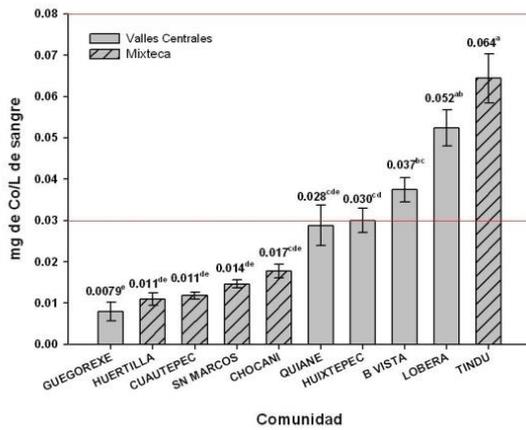
Olmedo-Juárez (2012) reporta concentraciones de Mg en sangre de cabras no lactantes de 24.4-28.5 mg/L de suero a lo largo del año. Por su parte Khan *et al.* (2008) pastoreadas en forrajes sin manejo agronómico mencionan que las cabras lactantes contienen 18 y 21 mg de Mg/L y en animales no lactantes de 18 y 20 mg/L en verano e invierno respectivamente. Orden *et al.* (1999) refieren concentraciones de Mg en cabras de 21.8-28.5 y de 23.9-39.2 mg/L en temporadas de secas y lluvias respectivamente. Todos estos investigadores reportan concentraciones mayores a las de nuestra investigación, Khan *et al.* (2008) con cabras en lactancia reporta concentraciones similares a las que se detectaron en las cabras de Quiané, Buena Vista y La lobera.

7.8 Microelementos en sangre

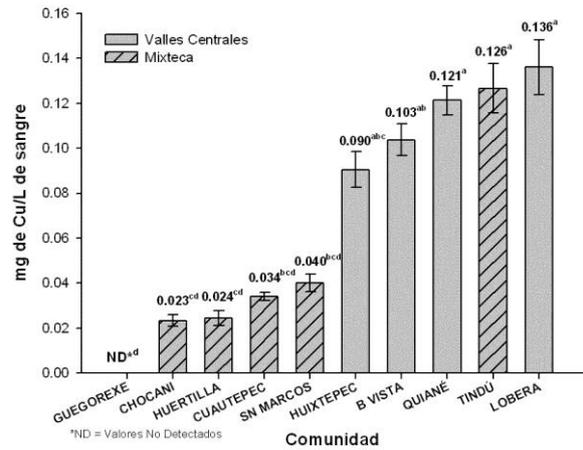
Las gráficas siguientes describen las concentraciones de los microelementos en sangre. A continuación se describen cada uno de ellos:

Gráficas 37-42 concentración de microelementos en sangre de cabras de las regiones de Valles centrales y Mixteca oaxaqueña.

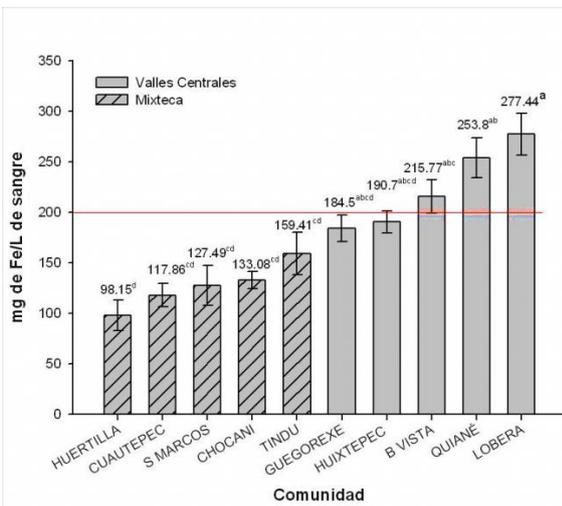
(37)



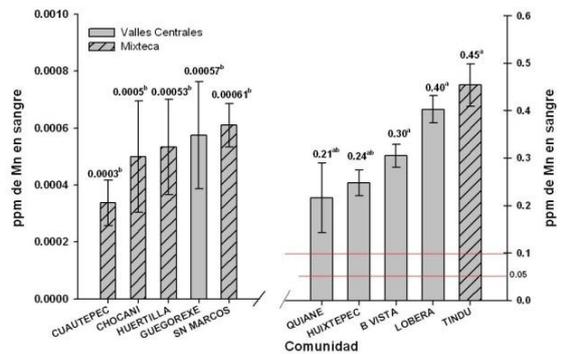
(38)



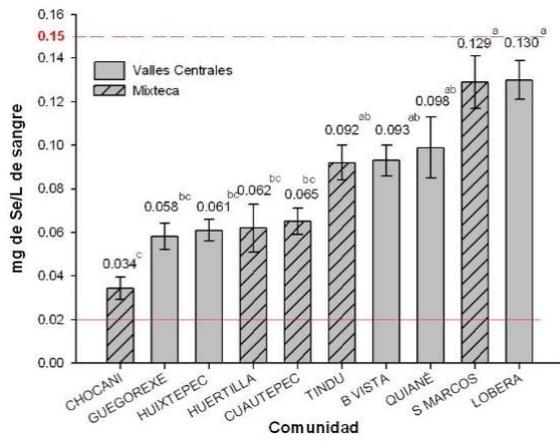
(39)



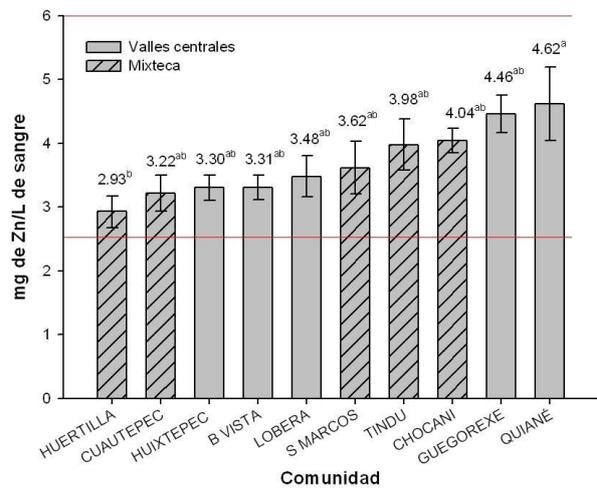
(40)



(41)



(42)



Literales diferentes en las barras indican diferencias estadísticas $P < 0.05$

Cobalto

Las Concentraciones de Cobalto en sangre de cabras en pastoreo de Oaxaca se presentan en la Gráfica 37. Las cabras de Sta. María Tindú en la Mixteca (0.052 mg/L) y La Lobera (0.064 mg/L) en Valles Centrales fueron las de mayor concentración de este elemento. Mientras que las de San Pedro Guegorexe fueron las que presentaron menor concentración. Youde *et al.* (2002) mencionan que las concentraciones normales de Co en sangre de caprinos se encuentran entre 0.03-0.08 mg/L. Con base en nuestros resultados podemos mencionar que únicamente las cabras de Tindú, La Lobera y Buena Vista presentaron concentraciones adecuadas de este elemento en sangre. Mientras que las cabras de Sn. Pablo Huixtepec se encuentran en el límite inferior sugerido para este metal. Por otro lado se detectaron deficiencias de Cobalto en caprinos de Sn. Pedro Guegorexe y Quiané en Valles Centrales y en caprinos de la Huertilla, Cuautepéc, Sn. Marcos Arteaga y Chocani en la Mixteca. El cobalto es esencial para la síntesis microbiana de Vitamina B₁₂. Es por ello que una deficiencia de Cobalto se traduce en una deficiencia de Vit. B₁₂, y trae como consecuencia alteraciones del metabolismo de la energía, daños neurológicos, lesiones musculares y daños hepáticos.

Swarup *et al.* (2002) reportan concentraciones de Cobalto en cabras de 0.130-0.200 mg/L que corresponden valores superiores a los determinados en este trabajo, estos mismos autores analizaron la sangre de caprinos que son pastoreados cerca de una fundidora de Plomo-Zinc y registraron concentraciones de 0.050-0.200 mg/L y mencionan que hallaron un efecto detrimental de Co en sangre por excesos de Zinc. Por otro lado Youde (2002) en China, determinó concentraciones de Co en cabras en las que registró concentraciones de 0.01 mg/L, que coinciden con animales deficientes en este estudio. Yazar *et al.* (2006) en Turquía registraron concentraciones de 0.0181-0.0343 mg/L concordando con las concentraciones determinadas en Chocani, Quiané, Huixtepec y Buena Vista (Gráfica, X).

Cobre

Las concentraciones de Cobre en sangre de cabras en pastoreo se muestran en la Gráfica 38, se encontraron diferencias entre comunidades ($P < 0.0001$). Destacaron las comunidades de Quiané, Tindú y La Lobera con las concentraciones mayores de este elemento. Al momento del análisis no se detectaron valores de Cobre en la

sangre de las cabras de Sn. Pedro Guegorexe. La NRC (2007), refiere que la concentración de Cu en plasma es de 0.9-1.39 mg/L, por otro lado Solaiman *et al.* (2001) indican que la concentración de Cu en plasma es de valor limitado para el diagnóstico del estatus mineral en las cabras en caso de intoxicación por este elemento. Al respecto este mismo autor reporta que la concentración de Cobre en sangre de cabras se mantuvo en el rango normal aun cuando se les administró 600 mg de Cu por día durante 7 semanas consecutivas y el valor de Cu en sangre solo se afectó (2.28 mg/L) en animales que se les administró 1200 mg de Cu/día.

Faye *et al.* (1991) reportan concentraciones de Cu en plasma de cabras de 0.110-0.420 mg/L, y tan bajas como 0.050 en corderos con ataxia enzootica valores similares a los determinados en este trabajo. Por otro lado Solaiman *et al.* (2006) refieren que cabritos en desarrollo a los que se les administró 100 y 200 mg de Cu/día mostraron concentraciones en suero de 0.78 y 0.86 mg/L respectivamente. Yazar *et al.* (2006) con cabras de pelo reporta concentraciones de Cu de 1.03-1.39 mg/L. Haenlein y Anke (2011) en animales que reciben dietas con 2 y 8 ppm de Cu reportan concentraciones de Cu en plasma de 0.41 y 0.67 mg/L respectivamente. Draksler *et al.* (2002) determinaron concentraciones de Cu de 0.5 mg/L en animales que mostraron ataxia y concluyen que las cabras criollas fueron más susceptibles a padecer deficiencia de cobre. Todos estos investigadores reportan concentraciones de Cu mayores a la determinadas en esta investigación por lo que podemos decir que las cabras pastoreadas en las comunidades de Oaxaca, es necesaria la suplementación de Cu para mejorar los parámetros productivos de esta especie.

Hierro

Las concentraciones de Hierro en sangre de cabras se presentan en la Gráfica 39. Se encontraron diferencias estadísticas entre comunidades, y entre regiones. Las cabras de Valles Centrales registraron una Mayor concentración de Hierro en Sangre. En las cabras de La lobera se determinaron concentraciones de 277.44 mg/ke de Hierro numericamente mayor a las demás comunidades aunque estadísticamente similar la concentración de hierro en la sangre de las cabras de Valles Centrales. La concentración de Hierro en las cabras de Quiané y La Lobera fueron mayores a todas las registradas en las cabras de la Mixteca. Youde (2002)

cita que las concentraciones normales de Hierro en sangre completa de cabras se encuentran entre 200-450 mg/L de sangre.

Manganeso

Las concentraciones de Mn en sangre de cabras se muestra en la Gráfica 40, se encontraron valores muy variables entre comunidades, siendo las cabras de las comunidades de Chocani, la Lobera y Buena Vista las de mayor concentración de este elemento. En sangre completa Herdt y Hoft (2011) mencionan que concentraciones de Manganeso inferiores a 0.020 mg/L se consideran valores de deficiencia. Youde (2002) menciona que la concentración normal se encuentra entre 0.05 y 0.1 ppm. En este contexto podemos afirmar que existe una severa deficiencia de este metal en las cabras de Sn. Pedro Guegorexe, en Valles Centrales; Sn. Marcos Arteaga, Guadalupe La Huertilla, Chocani y Guadalupe Cuauhtepac en la Mixteca. Esto se puede explicar porque altas concentraciones de Calcio y Fósforo son antagónicas de la disponibilidad de Manganeso. McDowell (2003) menciona que no existen reservas corporales de este elemento, el hueso contiene una considerable concentración del manganeso corporal pero es de lenta liberación en casos de deficiencia.

Youde (2002) reporta concentraciones de Mn en sangre de cabras de 0.02-0.06 ppm que corresponden con valores superiores a los animales con deficiencia en este estudio, pero a la vez son menores a los determinados en cabras de Quiané, Huixtepec, La Lobera, Buena Vista y Tindú. Nazifi *et al.* (2008) reportan valores de Mn en Suero de Borregos de 0.1499 mg/L (2.73 $\mu\text{mol/L}$)- 0.2697 mg/L (4.91 $\mu\text{mol/L}$) su concentración mayor se asemeja a lo determinado en este estudio en las cabras de Quiané y Huixtepec. Haenlein y Anke (2011) con cabras Saanen hallaron concentraciones de Mn en suero de cabras que reciben una dieta deficiente en este elemento de 0.08 mg/L y en cabras con una ración adecuada de 0.09 mg/L, mencionando que la concentración de Mn en sangre no disminuyó en sangre con la deficiencia, pero se vio afectada la concentración de este metal en hígado, pelo, páncreas y músculo cardiaco. Novotný *et al.* (2011) con cabras Saanen determinaron concentraciones de 0.019 y 0.0203 mg/L en animales en lactancia y cabritos respectivamente.

Selenio

Las concentraciones de Selenio en sangre de cabras en pastoreo se muestran en la Gráfica 41, hubo diferencias entre comunidades ($P < 0.0001$). Las cabras de La Lobera, Sn. Marcos Arteaga y Quiané fueron en las que se registró la mayor concentración de Selenio, a pesar de ser ello, no cumplen con la concentración normal de este elemento (0.150-0.250 mg/L de sangre completa) citada por Pechova *et al.* (2012). Por su parte Serra *et al.* (1996) mencionan que el nivel crítico de Selenio en sangre completa es de 0.020 mg/L. Con base en estos parámetros podemos decir que las cabras muestreadas en las regiones de Valles Centrales y Mixteca Oaxaqueña son deficientes en Selenio, además hay que hacer notar que las cabras de la comunidad de Chocani (0.034 mg/L) en la Mixteca, al momento del análisis son las que más se acercaron al nivel crítico de este metal en sangre. La baja concentración de Selenio en sangre en Chocani, Sn. P. Guegorexe y Sn. P. Huixtepec, concuerdan con la menor concentración de selenio en los forrajes analizados en las mismas localidades. Serra *et al.* (1996) y Sprinkle *et al.* (2012) reportan concentraciones de Se en cabras de 0.025 y 0.123mg/L en sangre completa resultados que son similares a los determinados en este estudio. Yazar *et al.* (2006) y Hefnawy *et al.* (2007) en cabras citan concentraciones de Se de 0.2998 - 0.3754 y 0.1131-0.1372mg/L (suero) respectivamente, valores superiores a lo hallado en esta investigación. Ramírez-Bribiesca *et al.* (2001) y Ramírez-Bribiesca (2005) reportan cabras severamente deficiente con concentraciones de Se en suero de 0.019 y 0.022 mg/L y 0.022-0.037 mg/L, considerando que en nuestra investigación las concentraciones de selenio superaron el nivel crítico de este elemento, la deficiencia de Se en las cabras de Oaxaca va de severa a muy severa.

Zinc

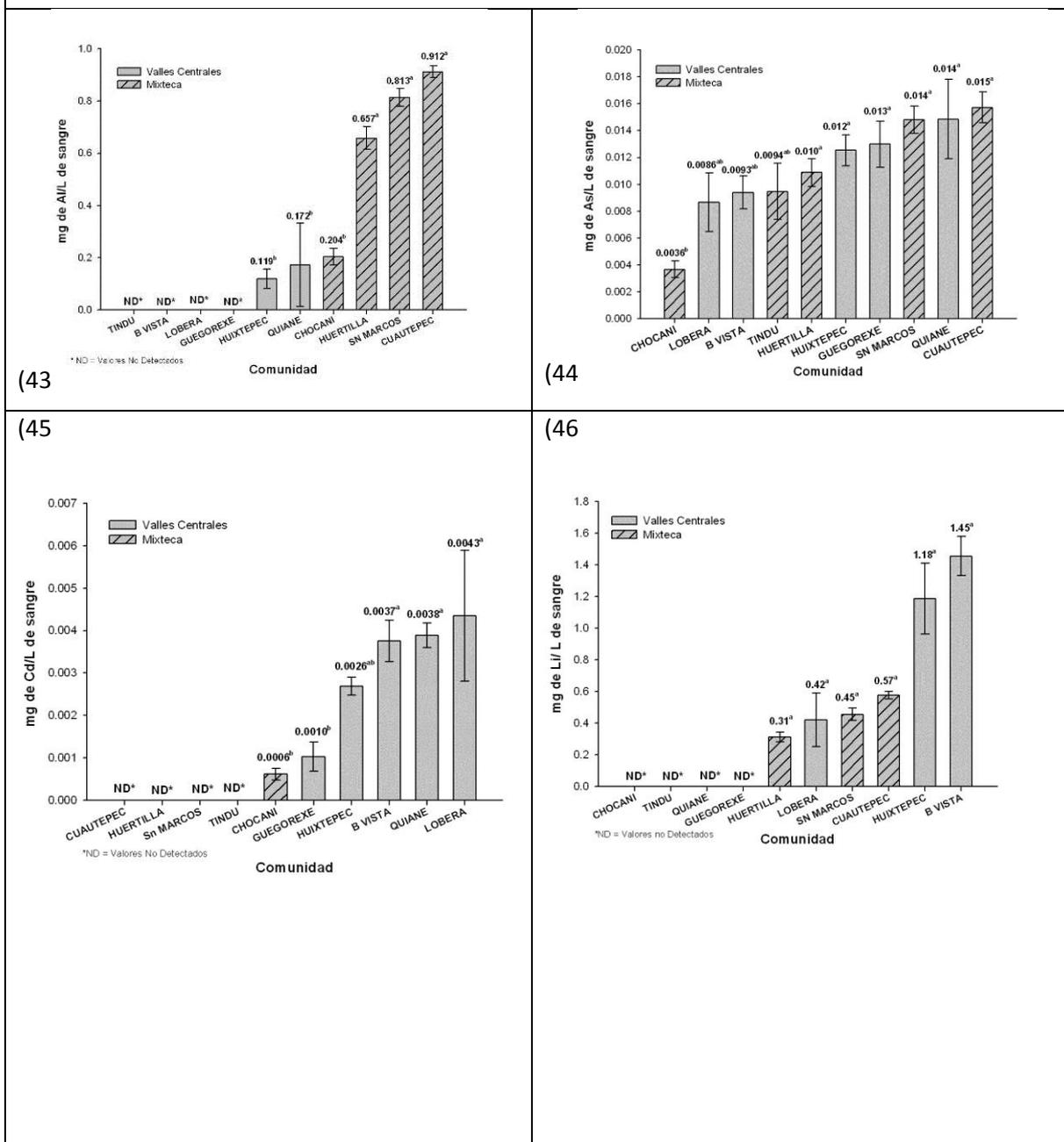
Las concentraciones de Zinc se presentan en la Gráfica 42, Youde *et al.* (2002) refieren que la concentración normal de este elemento en sangre completa es de 2.5-6 ppm (mg/L) en este sentido podemos decir que las cabras en pastoreo de esta investigación al momento del análisis contenían valores normales de Zinc en sangre. Numéricamente las cabras de la Huertilla fueron las que menor concentración de este elemento y fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) a las cabras de Quiané. Yazar *et al.* (2006) reporta en cabras de Turquía concentraciones de Zn de 3.44-3.92 mg/L, que se corresponde con lo determinado en esta investigación. Haenlein y Anke (2011) reportan en suero sanguíneo valores de 1.06 y 1.16 mg/L,

en ovinos Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) determinaron concentraciones de 1.4-2 mg/L.

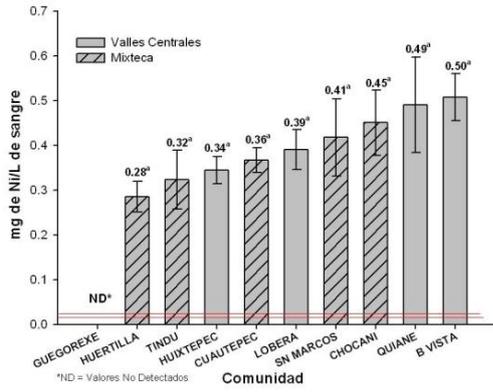
7.9 Elementos ultratraza en sangre

La determinación de minerales ultratraza no es común en los diagnósticos. Sin embargo se tuvo la oportunidad de determinar algunos de ellos en tejido hemático. A continuación se describen y discuten:

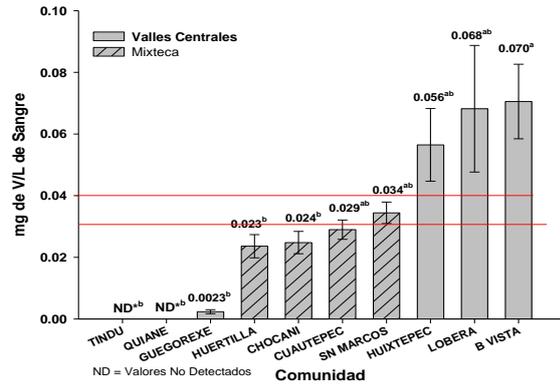
Gráficas 43-48 concentraciones de los minerales ultratraza en sangre de cabras de las regiones Valles Centrales y Mixteca oaxaqueña.



(47)



(48)



Literales diferentes en las barras indican diferencias estadísticas $P < 0.05$

Aluminio

Se encontraron diferencias ($P < 0.01$) en las concentraciones de Al entre comunidades (Grafica 43). Al momento del análisis no se detectaron concentraciones de Aluminio en sangre de las cabras de Tindú, Buena Vista, La Lobera y San Pedro Guegorexe (probable interferencia entre metales al momento del análisis). Por otro lado las cabras de La mixteca oaxaqueña mostraron mayores concentraciones de Al en sangre, siendo las cabras de Cuauhtepic (0.912 ppm) las de mayor concentración. Es probable que como lo explica Olopade y Onwuca (2007), haya existido una interferencia de la absorción de aluminio debido a mayores concentraciones de Hierro en forrajes de Valles Centrales. Por otro lado Mahieu *et al.* (1998), reportan concentraciones de este elemento en plasma de ratas de 0.01 – 0.015 mg/L en grupo control. Mientras que ratas en las que se estudió el efecto toxico de este elemento y a las que les dieron hidróxido de aluminio (80 mg/kg de PV) presentaban valores séricos de 0.135 - 0.906 mg de Al/L mostrándose un comportamiento ascendente a lo largo de 6 semanas de estudio. Con base a sus resultados y los de nuestra investigación podríamos inferir que existe un elevado consumo de aluminio en las cabras de Oaxaca, que puede afectar la absorción y disponibilidad de Hierro, Ca, F, P en la dieta (McDowell, 2003). Miuller menciona que los animales pueden consumir grandes cantidades de aluminio en la ración cuando se encuentran en pastoreo, debido a contaminación de los forrajes con suelo o consumo directo de suelo por los animales. En humanos el valor normal de aluminio en sangre debe ser inferior a 0.00541 mg/L ($<0.2\mu\text{mol/L}$).

Arsénico

Las concentraciones de Arsénico en sangre se muestran en la Gráfica 44, hubo diferencias entre comunidades ($P < 0.05$), en las cabras de Chocani (0.0036 mg/L) resultaron con la menor concentración en sangre, estadísticamente diferentes en concentración que las cabras de la Huertilla, Sn. Marcos Arteaga en la Mixteca y Huixtepec, guegorexe y Quiané en Valles centrales.

Yazar (2006) reporta en cabras de Turquía concentraciones de As de 0.1091-0.2038, valores mayores a los encontrados en los caprinos de esta investigación. Biswas *et al.* (2000) en animales con toxicidad de As en sangre determinaron valores de 2.88 mg/L, con signos de oliguria, debilidad, pérdida parcial de apetito y

orina color roja. Por lo que podemos decir que las concentraciones de As en sangre de las cabras de Oaxaca presentan valores bajos de este metaloide en sangre y se recomienda hacer estudios en otros tejidos para determinar su concentración y descartar posibles efectos dañinos a la salud humana tras su consumo.

Cadmio

Las concentraciones de Cadmio en sangre se presentan en la Gráfica 45, de las comunidades de la Mixteca solo en Chocani se registraron valores de este elemento (0.0006 mg/L). En Valles centrales las cabras de la Lobera, Quiané y Buena Vista fueron las de mayor concentración. Este elemento es importante debido a su capacidad carcinogénica y es estudiado por ser contaminante de suelos, debido a efectos industriales o quema de combustibles fósiles (Haenlein y Anke, 2011). Oluokun *et al.* (2007) realizaron un estudio de contaminación de suelos forraje y sangre de cabras, en el cual las cabras que se encontraban junto a la fuente de contaminación (industria cementera) poseían el doble (0.024 ppm) de cadmio que las cabras de un área no contaminada (0.012 ppm). Dichos valores son 3 y 6 veces mayores a los determinados en este estudio. Y esto puede ser atribuido a que en las zonas de pastoreo se encuentran alejadas de zonas industriales y por su orografía resultan poco accesibles en vehículos (sobre todo en las Zonas de pastoreo de la Mixteca) que contaminen los forrajes por quema de combustibles.

Litio

Las concentraciones de litio en sangre se muestran en la Gráfica 46. No encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre comunidades. Al momento del análisis no se detectaron valores de Li en sangre de cabras de Chicani, Tindú, Quiané y Guegorexe. Numéricamente las cabras de Buena Vista y Huixtepec fueron las que registraron mayor concentración de este elemento. La NRC (2005) cita que el Litio en suero se encuentra por debajo de los 0.02 mg/L. pero que este valor es exponencial de acuerdo a la concentración en la ración y también depende de cuánto compite con el Sodio por la absorción. En este contexto Suttle (2010) menciona que con dietas en las que el Li se administró a 162 ppm en plasma se encontró a razón de 3-6 mg/L. Suttle (2010) argumenta que en casos de intoxicación las concentraciones de Litio en plasma se encuentran entre 40-60 mg/L. Con base en lo antes mencionado podemos decir que las cabras de Oaxaca, en las que se

detectó Li, presentaron concentraciones mayores a lo normal, sin llegar a concentraciones tóxicas. Haenlein y Anke (2011) en suero de cabras deficientes de Li, reportan valores de 0.8 mg/L y en animales control de 4 mg/L esta última concentración la obtuvo con dieta que contenía 24 mg de Li/kg de MS. Por su parte Yazar (2006) en cabras de pelo registraron valores de 0.424-0.449 mg/L mismos que asemejan a los determinados en cabras de La Lobera y Sn. Marcos Arteaga.

Níquel

Las concentraciones de Níquel se presentan en la Gráfica 47. Al momento del análisis no se detectaron valores de Ni en la sangre de las cabras de Sn. Pedro Guegorexe, por otro lado la concentración de Ni es mayor a lo citado por Khan *et al.* (2013) quienes mencionan que este elemento debe encontrarse en sangre entre 0.014-0.024 ppm. Yazar *et al.* (2006) determinaron en cabras de Angora concentraciones de Ni de 0.2188-0.2800 mg/L valores que coinciden con los hallados en la presente investigación en la comunidad de la Huertilla, sin embargo, la mayor parte de los resultados encontrados en nuestro trabajo superan dicho valor. En caso de Toxicidad los valores de este elemento en riñones es de 30-50 ppm de Ni con base a materia seca Suttle (2010).

Vanadio

Las concentraciones de Vanadio en sangre se presentan en la Gráfica 48. Se encontraron diferencias estadísticas entre comunidades ($P < 0.05$). En las cabras de las comunidades de Tindú y Quiané no se detectaron Valores al momento del análisis, la concentración más baja determinada fue en las cabras de Sn. Pedro Guegorexe, aunque fue estadísticamente similar a las cabras de las demás comunidades excepto las de Buena Vista. Únicamente las cabras de Sn. Marcos Arteaga mostraron valores que corresponden a lo normal reportado. Podemos decir que las cabras de Buena Vista, La Lobera y Huixtepec al momento del análisis contenían más Vanadio en sangre de lo que se considera normal. Mientras que en 60% de las comunidades muestreadas se registraron valores por debajo de lo normal.

Yazar *et al.* (2006) en cabras de pelo registraron concentraciones de vanadio de 0.033 ± 0.0057 y 0.0383 ± 0.0082 mg/L, valores que coinciden con las

concentraciones determinadas en las cabras de San Marcos Arteaga. Haenlein y Anke (2011) mencionan que la deficiencia de Vanadio reduce la expectativa de vida en las cabras hasta en un 50 %.

8. Conclusiones

1. Las concentraciones de macro y microminerales en las regiones de Valles Centrales y Mixteca de Oaxaca variaron considerablemente entre las comunidades. No hay una homogenización por región.
2. En macrominerales, las concentraciones de Fósforo se presentaron deficientes en alrededor de un 40 % de las regiones de estudio, involucrando los suelos, forrajes y tejido hemático de los animales.
3. En microminerales, se detectaron deficiencias de Cobre, Cobalto, Manganeso y Selenio en los sistemas de producción.
4. Las concentraciones de minerales traza fueron novedosos en nuestro estudio. Es el primer reporte en el país en los sistemas de producción caprino. Al parecer las cantidades de Litio, Vanadio y Níquel tienen una importancia fisiológica en los suelos, forrajes y animales. Sin embargo los requerimientos e importancia fisiológica en las cabras todavía son imprecisos.

9. Bibliografía

1. Agnieszka J. y Barbara G. 2012. Chromium, nickel y vanadium, mobility in soils derived from fluvio-glacial sands. *Journal of Hazardous Materials* 237-238: 315-322
2. Ahmed M. M. M., Ahmed T. F. M. y Barri M. E. S. 2001. Variation of zinc and copper in the plasma of Nubian goats according to physiological state. Technical note. *Small Ruminant Research* 39:189-193
3. Ahmed M. M. M., Siham A. K., y Barri M. E. S. 2000. Macromineral profile in the plasma of nubian goats as affected by the physiological state. *Small Ruminant Research*. 38:249-254.
4. Alcalá J., Sosa M., Moreno M., Rodríguez J. C., Quintana C., Terrazas C. y Rivero O. 2009. Metales pesados en suelo urbano como un indicador de la calidad ambiental: Ciudad de Chihuahua, México. *Heavy metals in urban lands as an indicator of environmental quality: city of Chihuahua, Mexico*. *Multequina* 18:53-69
5. Alcalá J. J., Ávila C. C., Rodríguez O. J. C., Hernández M. A., Beltrán M. F. A., Rodríguez F. H. y Loya R. J. G. 2012. Metales pesados como un indicador de impacto de un sistema ecológico fragmentado por usos del suelo, San Luis Potosí, México. *Heavy metals as an indicator of ecological impact of a fragmented land uses, San Luis Potosí, México*. *Rev. Fac. UNCUYO* 44(2):15-29
6. Andrews E. D. 1966. Cobalt concentrations in some New Zealand fodder plants grown on cobalt-sufficient and cobalt-deficient soils. *N.Z. J. Agric. Res.* 9: 829-838
7. Anke M. Vanadium – An element both essential and toxic to plants, animals and humans? *Anal. Real. Acad. Nac. Farm.* 70: 961-999
8. Anke M., Illing-Günther H. y Schäfer U. 2005. Recent progress on essentiality of the ultratrace element vanadium in the nutrition of animal and man. *Biomed. Res. Trace Elements*. 16(3): 208-214
9. Aréchiga C. F., Aguilera J. I., Rincon R. M., Méndez de Lara S., Bañuelos R. L. y Meza-Herrera C. A. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. Una revisión. [Role and perspectives of goat production in a global world. A review] *Tropical and Subtropical agroecosystems* 9:1-14

10. Baraza E., Ángeles S., García Á. y Valiente-Banuet A. Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el valle de Tehuacán, México. *Interciencia* 33 (12): 891-896
11. Baraza E., Valiente-Banuet A. y Delgado O. D. 2010. Dietary supplementation in domestic goats may reduce grazing pressure on vegetation in semi-arid thornscrub. *Journal of Arid Environment* 74: 1061-1065
12. Bautista-Cruz A. y Arnaud-Viñas M. del R. 2006. Elementos potencialmente tóxicos en suelos agrícolas con manejo de riego contaminante. *Naturaleza y Desarrollo* 4 (1) 36-42
13. Bautista-Cruz A., Arnaud-Viñas M. del R. y Carrillo-González R. 2011. Trace elements concentration in two agricultural areas. *Tierra Latinoamericana* 29 (2):123-131
14. Barry, G. A. (1984). Cobalt concentration in pasture species grown in several cattle grazing areas of Queensland. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences*. 41 (2):73-81.
15. Biswas U., Sarkar S., Bhowmik M. K., Samanta A. K. y Biswas S. 2000. Chronic Toxicity of Arsenic in goats: clinicobiochemical changes, pathomorphology and tissue residues. *Small Ruminant Research* 38: 229-235
16. Cabrera T. E. J., Sosa R. E. E., Castellanos R. A. F., Gutiérrez B. A. O. y Ramírez S. J. H. 2009. Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México. *Vet. Méx.* 40 (2):167-179
17. Cantú-Brito J. E. 2008. *Zootecnia de ganado caprino*. México. editorial Trillas. pp 304
18. Chen. C., Huang D. y Liu J. 2009. Functions and toxicity of Nickel in plants: Recent advances and future Prospects. A review. *Clean J.* 37 (4-5), 304-313. http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/Ni_chen.pdf
19. De la Cruz-Pons A., Zavala-Cruz J., Guerrero-Peña A., Salgado-García S., Lagunes-Espinoza L. C. y Gavi-Reyes F. 2012. Metales pesados en suelos cultivados con caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco. Heavy metals in soils cultivated with sugar cane in the Chontalpa, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 28(2):119-130

20. Domínguez-Vara I., A. y M., Huerta-Bravo. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el valle de Toluca, México. Mineral concentration and interrelationship in soil, forage, and serum of sheep during two seasons in the Toluca Valley, México *Agrociencia*. 42: 173-183.
21. Draksler D., Núñez M., Apella M. C., Agüero G. y González S. 2002 Copper deficiency in goat kids. *Reprod. Nutr. Dev.* 42: 243-249
22. Faye B., Grillet C. Tessema A. y Kamil M. 1991. Copper deficiency in ruminants in the Rift Valley of East Africa. *Trop. Anim. Hlth. Prod.* 23: 172-180.
23. Figueroa L. T., Rasmilic B., Zumeata O., Aranda G. N., Barton S. A., Schull W. J., Young A. H., Kamiya Y. M., Hoskins J. A. y Ilgren E. B. 2013. Environmental Lithium Exposure in the north of Chile – II. Natural food Sources. *Biological Trace Element Research* 151: 122-131
24. Franco F. J., Gómez G. a., Mendoza G. D., Bárcena R., Ricalde R., Plata F. y Hernández J. 2005. Influence of plant cover on dietary selection by goats in the mixteca región of Oaxaca, Mexico. *Journal of Applied Animal Research* 27(2):95-100
25. Franco-Guerra F. J., Sánchez-Rodríguez M., Hernández-Hernández J. E., Villareal O. A., Camacho R. J. C. y Hernández R. M. A. 2008. Evolución del comportamiento alimentario de cabras criollas en especies arbóreas y arbustivas durante el pastoreo trashumante, México. *Zootecnia Trop.* 26(3): 383-386
26. Gámez V. J. R., Huerta B. M. y Domínguez-Vara I., 2009. Diagnóstico del estado mineral del ganado bovino en San Juan del Rio, Choapam, Oaxaca, México. *AMPA. Chapingo*
27. García G. E., García N. E., Juárez S. L. F., Juárez S. L. Montiel G. y Gómez C. 2012. La respuesta de haba (*Vicia faba*, L.) cultivada en un suelo contaminado con diferentes concentraciones de cadmio. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28(2):119-126
28. García H. A. 1996. La caprinocultura en la Mixteca oaxaqueña. *Origenes. Ciencias* 44:28-31

29. Gartengber, P. K., McDowell, L.R., Rodríguez, D., Wilkinson, N., Conrad, J. H., y Martín, F. G. 1990., Evaluation of the trace mineral status of ruminant in northeast Mexico. *Livestock Research for Rural Development* 2 (1) Article # 5. <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd2/1/mcdowell.htm>
30. Grace N. D. 1992. Prevention of trace element deficiencies in grazing ruminants: an evaluation of methods. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 54:31-34
31. González M. M. J., Meseguer S. I. y Mateos V. C. J. 2009. Elementos ultratraza ¿Nutrientes o Tóxicos? *Rev. Toxicol.* 26: 93-103
32. Greger J. L. 1993. Aluminium metabolism. *Annu. Rev. Nutr.* 13:43-63
33. Gutiérrez-Ruiz, M. E., Cenicerós-Gómez A., Luna-González, L., Morales-Manilla, L. M., Romero, F., Martínez-Jardines, L. G., Rosas, H. y J. López Blanco. (2009). Elaboración de un mapa regional de valores de fondo de elementos potencialmente tóxicos (EPT) de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Informe final. SNIBCONABIOproyecto No. GS002. México, D.F.
34. Gutiérrez O., C. Rosiles M., R. y Ducoing. W., A., 2006. Liberación de selenio en soluciones amortiguadoras a partir de comprimidos elaborados con diferente tipo de aglomerante. *Vét. Méx.* 37:3 291-301
35. Gupta U.C. (1993). Cobalt content of forages and cereals grown on Prince Edward Island. *Can J. Soil Sci.* 73: 1-7.
36. Haddadin M. S. Y., Khattari S. Caretto D. y Robinson R. K. 2002. Potencial intake of lithium by the inhabitants of different region in Jordan. *Pakistan Journal of Nutrition* 1(1):39-40
37. Haenlein G. F. W. y Anke M., 2011. Mineral and trace element research in goats: A review. *Small Ruminant Research* 95: 2-19
38. Haenlein G., F., W. y Ramirez R. Z., 2007. Potential mineral deficiencies on arid rangelands for small ruminants with special reference to Mexico. *Small Ruminant Research* 68: 35-41
39. Härter C. J., Castagnino D. S., Rivera A. R., Lima L. D., Silva H. G. O., Mendonça A. N., Bonfim, G. F., Liesegang A., St-ierre N. y Teixeira I. A. M. A., 2015. Mineral Metabolism in Singleton and Twin-pregnant Dairy Goats. *Asian Australas. Journal Animal Science* 28 (1) 37-49

40. Havlin J. L., Beaton J. D., Tisdale S. L. y Nelson W. L., 2005. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Prentice Hall, Inc. 7th edition Printed in U.S.A.
41. Hefnawy A. E. G., López-Arellano R., Revilla-Vázquez A., Ramírez-Bribiesca E. y Tórtora-Pérez J. 2007. The relationship between fetal and maternal selenium concentrations in sheep and goats. *Small Ruminant Research* 73: 174-180
42. Hefnawy A. E. G. y Tórtora-Pérez J. L., 2010. The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research* 89: 185-192
43. Hernández Z., J., S. 2000. La caprinocultura en el marco de la ganadería poblana (México): contribución de la especie caprina y sistemas de producción. *Arch. Zootec.* 49: 341-352
44. Herd T. H. y Hoff B. 2011. The use of blood analysis to evaluate trace mineral status in ruminant Livestock. *Vet. Clin. Food Anim.* 27: 255-283
45. Hidiroglou M. 1979. Trace Element Deficiencies and Fertility in Ruminants: A Review *Journal Dairy Science* 62:1195-1206
46. Hidiroglou M. 1980. Zinc, Copper and Manganese deficiencies and the ruminant skeleton: A review. *Canadian Journal of Animal Science.* 60 (3) 579-590
47. Huges. M. F., 2002. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters* 133: 1-16
48. Inegi. 2008 Prontuario de información geográfica municipal de los estados Unidos Mexicanos. Oaxaca.
49. Jimeno V., Rebollar P., G. y Castro T., 2003. Nutrición y alimentación del caprino de leche en sistemas intensivos de explotación. XIX curso de especialización FEDNA. Madrid 23 y 24 de Octubre
50. Jones, David. L. y Kochian, Leon. V., 1996. Aluminium-organic acid interaction in acid soils. *Plant and soil* 182: 221-228
51. Kabata Pendias A. 2010 Trace elements in soils and plants. Fourth Edition. CRC Press. Taylor & Francis Group. Consultado en: [http://www.petronet.ir/documents/10180/2323242/Trace Elements in Soils and Plants](http://www.petronet.ir/documents/10180/2323242/Trace%20Elements%20in%20Soils%20and%20Plants)

53. Kabata Pendias A. y Pendias H. 1986. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc.
54. Kawas J. R., Andrade-Montemayor H. y Lu C. D. 2010. Strategic nutrient supplementation of free-ranging goats. *Small Ruminant Research* 89:234-243
55. Kendall N., R. McMullen S. Green A. and R., G., Rodway. 2000. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on trace element status and semen quality of ram lambs. *Animal Reproduction Science*. 62 277-283
56. Khan, Z. I., Ahmad K., Ashraf M., Naqvi. S. A. H., Mukhtar. M. K., Muhammad Sher. M., y Nudrat Aisha Akram N. A., 2013., Risk Assessment of Nickel Toxicity in Rams in a Semi-Arid Region Using Soil-Plant and Blood Plasma Samples as Indicators. *Pakistan J. Zool.*, vol. 45(3), pp. 793-799.
57. Khan Z. I. Ashraf M. Ahmad K. Javed I. y Valeem E. E., 2008. A comparative study on mineral status of blood plasma of small ruminants and pastures in Punjab, Pakistan. *Pak. J. Bot.* 40 (3): 1143-1151
58. Macnicol R. D. y Beckett P. H. T. 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant and Soil* 85: 107-129
59. Mahieu S., Calvo M. A., Millen N., Contini M. C. y González M. 1998. Toxicidad del aluminio sobre el hueso: efecto sobre marcadores óseos en ratas en crecimiento. *Revista FABICIB* 2:131-137
60. Manuelian C. L., Albanell E., Maristela R., Salama A. A. K. y Rovai M. 2014. Effect of breed of lithium chloride dose on the conditioned aversion to olive tree leaves (*Olea europea L.*) of sheep. *Applied Animal Behavior Science* 155: 42-48
61. Marín-Garza T., Gómez-Merino F. C., Trejo-Téllez L. I., Muñoz-Orozco A., Tabitas-Fuentes L., Hernández- Aragón L. y Santacruz-Valera A. 2010. Respuestas fisiológicas y nutrimentales de variedades de arroz a la concentración de aluminio. *Physiological and nutrimental responses of rice varieties to aluminium concentration. Rev. Fitotec. Méx.* 33(1):37-44
62. Martin H. W., Young T. R., Kaplan D. I., Simon L. y Adriano D.C. 1996. Evaluation of three herbaceous index plant species for bioavailability of soil cadmium, chromium, nickel y vanadium. *Plant and Soil* 182: 199-207

63. Martínez R., R., D. Soto C., R. y L., A., A., Mastache. 2004. La cabra criolla de los valles centrales del norte de Guerrero, México. Características productivas y reproductivas. La Habana (Cuba): Federación Iberoamericana de razas criollas 90
64. Mayén M. J. 2009. Ganado Caprino. México, Editorial Trillas pp 103
65. Mayland H. F. 1986. Trace mineral nutrition of ruminants on forage based systems. USDA. Conference Montana livestock nutrition. 1986 30-31
66. Mayland H. F. y Shewmaker G. E. 2001. Animal health problems caused by silicon and other mineral imbalances. J. Range Manage 54: 441-446.
67. McDowell L., R. 2003. Minerals in animal and human nutrition. Second edition. Elsevier Science B. V.
68. Mellado M. 1997. La cabra criolla en América Latina. Estudios recapitulativos. Vet. Méx., 28 (4) 333-343
69. Mellado M., Olivares L., Rodríguez A. y Mellado J. 2006. Relation among blood profiles and goat diets on rangeland. Journal of Applied Animal Research 30 (1): 93-98
70. Mellado M. y Pastor F. J. 2006. Aborto no infeccioso en caprinos. Ciência Animal Brasileira 7(2):167-175
71. Meschy F. 2000. Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats. Livestock Production Science 64: 9-14
72. Miller W., J. 1979. Dairy cattle feeding and nutrition. The university of Georgia College of Agriculture. Athens, Georgia. Academy Press. Inc.
73. Mora G. M. L., Stehr W. W., Alfaro V. M. y Demanet F. R. 1996. Efecto de la acidez del suelo sobre la composición mineral de una pastura de *Lolium multiflorum* cv. Concord. Effect of the soil acidity on the mineral composition of *Lolium multiflorum* cv. Concord. XXI Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal. Coyhaique, Noviembre 1996. Acuña, H. y De la Fuente, A. (Ed.) pp: 33-34
74. Morales A. E., Domínguez V. I., Gonzalez-Ronquillo M., Jaramillo E. G. Castelán O. O., Pescador S. N y Huerta B. M. 2007. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. Mineral diagnosis in forage and blood serum of dairy cattle in two seasons in the Toluca Valley , México. Técnica Pecuaria México 45: 329-344

75. Moran-Fehr P. 2005. Recent developments in goat nutrition and application: A review. *Small Ruminant research* 60: 25-43
76. Müller R. Anke M. y Betz L. Essentiality of ultratrace element lithium to the nutrition of animals and man. Consultado en: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/095/43095333.pdf
77. Nadal M., Schuhmacher M. y Domingo. 2004. Metal pollution of soils and vegetation in an area with petrochemical industry. *Science of The Total Environment* 321(1-3): 59-69
78. Nazifi S., Saeb M., Abangah E. y Karimi T. 2008 The blood serum of Iranian fat-tailed sheep. *Vet. arhiv* 78: 159-165.
79. Nielsen F. H. 1984. Ultratrace elements in nutrition. *Ann. Rev. Nutr.* 4:21-41
80. Nielsen F. H. 1991. Nutritional requirements for boron, silicon, vanadium, nickel and arsenic: current knowledge and speculation. *FASEB J.* 5: 2661-2667
81. Nielsen F. H. 2000. Possible Essential trace element. En; *Clinical nutrition of essential trace elements and minerals: the guide for health professionals*. Editado por J. D. Bogden y L. K. Klevay. Human press inc. Totowa NJ
82. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Norma Oficial Mexicana. *Diario Oficial de La Federación* 2007.
83. NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación* 31/12/2002.
84. Novotný J., Petrovič V., Link R., Hisira V. y Kováč. 2011. Concentrations of macro and micro minerals in blood serum and faeces of goats. *Veterinarska Stanica* 42(1):211-215
85. NRC (National Research Council) 2005. *Mineral Tolerance of Animals*. The National Academies Press. Washington, D. C. pp 496.
86. NRC (National Research Council) 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants. Sheep, Goats, Cervids, and the New World Camelids*. The National Academies Press. Washington, D. C. pp 362.

87. Olmedo-Juarez A., Rojo, R., Salem A. Z. M. Vázquez-Armijo J. F., Rebollar-Rebollar S. Albarran B. y Lugo J. 2012. Concentration of some elements in blood serum of nonlactating goats in a subtropical region of southwest of México state. [Concentración de algunos elementos minerales en el suero sanguíneo de cabras no lactantes en una región subtropical del suroeste del estado de México]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 15: pp. 71-75.
88. Olopade J. O. y Onwuka S. K. 2007. Correlative analysis of cortical concentrations of some metals and crude protein in the brain of goats. *African Journal of Biomedical Research* 10:263-268
89. Oluokun J. A., Fajimi A. K., Adebayo A. O. y Ajayi F. T. 2007 Lead and Cadmium poisoning of goats raised in cement kiln dust polluted area. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 5 (1):382-384
90. Orden E. A., Serra A. B., Serra S. D., Aganon C. P., Cruz E. M., Cruz L. C. y Fujihara T. 1999. Mineral concentration in blood of grazing goats on some forage in Lahar-Laden Area of Central Luzon, Philippines. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12 (3): 422-428
91. Pechova A. Sevcikova L. Pavlata L. y Dvorak R. 2012. The effect of various forms of selenium supplied to pregnant goats on selected blood parameters and on the concentration of Se in urine and blood of kids at the time of weaning. *Veterinarni Medicina* 57(8):394-403
92. Pollot G. y Willson T. 2009. Sheep and goats for diverse products and profits. FAO (Food and Agriculture organization of the United Nations) Rural infrastructure and Agro-industries division. Pp. 59
93. Prieto-García F., Callejas H. J., Lechuga M. de los Á., Gaitán J. C. y Barrado E. E. 2005. Acumulación en tejidos vegetales de arsénico provenientes de suelos y agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Bioagro* 17(3):129-135
94. Prieto-Méndez J. González R. C. A., Román G. A. D. y Prieto G. F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Revisión. [Plant contamination and phytotoxicity due to heavy metals from soil and water. A review] *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 29-44

95. Puga S., Sosa M., Lebgue T., Quintana C. y Campos A. 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología aplicada* 5 (1,2):149-155
96. Ramírez L. R. G., 2009 *Nutrición de rumiantes: Sistemas Extensivos*. 2ª edición, México Trillas. pp 314
97. Ramírez R., Z., Haenlein G., F., W. García-Castillo C., G. y Nuñez-González M. A. 2004. Protein, lignin and mineral contents and in situ dry matter digestibility of native grasses consumed by range goats. *Small Ruminant Research* 52: 261-269
98. Ramírez R., Z., Haenlein G., F., y Nuñez-González M. A. 2001. Seasonal variation of macro and trace mineral contents in 14 browse species that grow in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research* 39: 153-159
99. Ramírez R. G., Loyo A., Mora R., Sanchez E. M. y Chaire A. 1991. Forage intake and nutrition of range goats in a shrubland in northeastern México. *J. Anim. Sci.* 69:879-885
100. Ramírez-Orduña R., Ramírez R. G., Romero-Vadillo E. González-Rodríguez H., Armenta-Quintana J. A. y Avalos-Castro R. 2008. Diet and nutrition of range goats on a sarcocualescent shrubland from Baja California Sur, México. *Small Ruminant Research* 76: 166-176
101. Ramírez-Bribiesca J., E. Tórtora J., M. Huerta M. Aquirre A. and L., M., Hernández. 2001a. Diagnosis of selenium status in grazing dairy goats in Mexican plateau. *Small Ruminant Research* 41:1 81-85
102. Ramírez-Bribiesca J., E. Tórtora J., M. Huerta M. Hernández L. M., López R. Crosby M. M. 2005. Effect of selenium-vitamin E injection in selenium-deficient dairy goats and kids on the Mexican plateau. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 57(1):77-84
103. Ramírez-Bribiesca J. E., Tórtora J. L. Hernández L. M. y Huerta M. 2001b. Main causes of mortalities in dairy goat kids from the Mexican plateau. *Small Ruminant Research* 41: 77-80
104. Revilla-Vázquez A. Ramírez-Bribiesca E. López- Arellano R. Hernández-Calva M., L. Tórtora-Pérez J. García-García E. y R., G., Cruz-

- Monterrosa. 2008. Suplemento de selenio con bolos intrarruminales de selenito de sodio en ovinos. Supplement of selenium with intrarruminal bolus of sodium selenite in sheep. *Agrociencia* 42: 629-635
105. Rico-Rodríguez M. A., Prieto-García F., Román-Gutiérrez A. D., Otazo-Sánchez E. M. y Acevedo-Sandoval O. A. 2013. Caracterización de tres suelos en Hidalgo y Querétaro, México: disponibilidad y daño tóxico por arsénico en garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Characterization of three soils in Hidalgo and Queretaro, Mexico: availability and toxic damage by arsenic in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Revista FCA UNCUIYO* 45(1):225-246
106. Rosas A. J., Escamilla P. E. y Ruiz R. O. 2008. Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Tierra Latinoamericana* 26 (4): 375-384
107. Rodríguez-Mercado J. J. y Altamirano-Lozano M. A. 2006. Vanadio: Contaminación, metabolismo y genotoxicidad. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 22(4):173-189
108. Ruíz V. J. 1998. Zonificación agroecológica del maíz de temporal en los valles centrales de Oaxaca. I. Determinación del potencial productivo. *Terra* 16(3): 269-275
109. Sánchez del R. C., Agustín R. G. y Raya M. A. 1997. NR. 05. Mineral content in soil, herbage and blood serum of Holstein cows in grazing, Acatlán, Hidalgo, México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 5(3):
110. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2012. Contexto de la caprinocultura. Consultado en <http://www.cnsp.caprinos.org.mx/documentos/conferencias2011/ContextoelaCaprinocultura.pdf>
111. SAS (Statistical Analysis System) 2002. SAS user's guide statistics. SAS Inst. Cary, NC, USA.
112. Schkrouzer G. N. 2002. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *Journal of the American College of Nutrition.* 21 (1): 14-21
113. Serra A. B. Serra. S. D. Nakamura K. Orden E. A. Cruz L. C. y Fujihara T. 1996. Effect of selenium in soluble glass bolus on selenium content of milk and blood of goats. *Biological Trace Element Research* 55: 207-212

114. Sheppard S. C. 1992. Summary of phitotoxic levels of soil arsenic. *Water, Air, and Soil pollution* 64: 539-550.
115. SIAP (Servicios de información agroalimentaria y pesquera), SAGARPA 2014. www.siap.gob.mx/opt/poblagand/Caprinos.pdf
116. Siebe C., 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, Tula, Hidalgo, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 10(1): 15-21
117. Solaiman S. G., Maloney M. A., Qureshi M. A., Davis G. y Andrea G. D. 2001. Effects of high copper supplements on performance, health, plasma copper and enzymes in goats. *Small Ruminant Research* 41: 127-139
118. Solaiman S. G., Shoemaker C. E. y Andrea G. H. D., 2006. The effect of high dietary Cu on health, growth performance, and Cu status in young goats. *Small Ruminant research* 66: 86-91
119. Solaiman S. G., Craig Jr. T.J., Reddy G. y Shoemaker C. E., 2007. Effect of high levels of Cu supplement on growth performance, rumen fermentation, and immune responses in goat kid. *Small Rumminant Research* 69: 115-123
120. Sowande O. S., Odufowora E. B., Adelakun A. O. y Egbeyale L. T. 2008. Blood Minerals in wad sheep and goats grazing natural pastures during wet and dry seasons. *Minerales en la sangre de ovejas y cabras enanas de west Africa Sobre pastos naturales en las estaciones seca y húmeda.* *Arch. Zootec.* 57 (218): 275-278
121. Sprinkle J. E. Cuneo S. P., Frederick H. M., Enns R. M., Schafer D. W. Carstens.G. E., Daugherty S. B., Noon T. H., Rickert B. M. y Reggiardo C. 2006. Efects of a long-acting, trace mineral, reticulorumen bolus on range cow productivity and trace mineral profiles. *Journal of Animal Science* 84: 1439-1453
122. Steel D. R. G. y Torrie J. H. 1997. *Bioestadística: Principios y procedimientos.* 2ª Ed. McGraw-Hill. México, D. F. 622 p.
123. Suttle N. F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock.* 4th Edition. United Kingdom MPG Books Group.
124. Swarup D., Patra R. C., Naresh R. y Kumar P. 2002. Lowered blood copper and cobalt contents in goats reared around lead-zinc smelter. *Small Ruminant research* 63 (3):309-313

125. Swarup D., Patra R. C., Naresh R., Kumar P., Shekhar P. y Balagangatharathilagar M. 2006 Lowered blood copper and cobalt contents in goats reared around lead-zinc smelter. Technical note. *Small Ruminant Research* 63: 309-313.
126. Tapio S. y Grosche B. 2006. Arsenic in the aetiology of cancer. *Mutat. Res.* 612: 215-246
127. Underwood E.,J. y N.,F. Suttle.1999. *Mineral Nutrition on Livestock*. UK, CABI Publishing
128. Uthus E. O. y Poellot R. A. 1996. Dietary folate affects the response of rats to nickel deprivation. *Biol. Trace Elem. Res* 52:23-35
129. Vázquez-Alarcón A., Justin-Cajuste L., Siebe-Grabach C., Alcantar-González G. y de la Isla de Brauer, M. de L. 2001. Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Cadmium, Nickel and Lead concentrations in wastewater, soil and crops in the mezquital Valley, Hidalgo, México. *Agrociencia* 35: 267-274
130. Vázquez-Armijo J. F., Rojo R., Salem A. Z. M., López D. Tinoco J.L., González A. Pescador N. y Domínguez vara I. A. 2011. Trace elements in sheep and goats reproduction: A review. [Elementos traza en la reproducción ovina y caprina: Una revision]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* , 14: 1-13
131. Vázquez-Armijo J. F., Rojo R., García R. M., López D. Salem A. F. Z., González A. Domínguez vara I. A. Pescador N. y Tinoco J.L. 2011. Effect of season on serum copper and zinc concentrations in crossbred goat having different reproductive status under semiarid rangeland conditions in southern México state. [Efecto de la estación sobre la concentración de cobre y zinc en suero sanguíneo de cabras en diferente estado reproductivo bajo condiciones de pastoreo extensivo en el sur del estado de México]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14: 331-335.
132. Vergara-Sánchez M. Á., Etchevers-Barra J. D. y Padilla-Cuevas J. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la sierra norte de Oaxaca,

México. Hillside soils fertility at the Oaxaca's northern sierra, México. *Agrociencia* 39: 259-266

133. Whitehead D. C. 2000. Nutrient Elements in Grassland Soil-Plant-Animals relationships CAB International U. K. Cambridge. University Press. pp 369
134. Witchel J. J. 1998. A review of selenium deficiency in grazing ruminants Part 1: New roles for selenium in ruminant metabolism, *New Zealand Veterinary Journal*, 46:2, 47-52
135. Yazar E. Altunok V. y Eroglu T., 2006. Concentrations of some elements in blood serum of Angora goats. *Medycyna wet.* 62 (11):1249-1251
136. Youde H. 2002. An Experimental Study on the treatment and prevention of *Shimao zheng* (Fleece-eating) in Sheep and Goats in the Haizi Area of Akesai County in China. *Veterinary Research Communications*, 26: 39-48