

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



CALIDAD DEL AGUA DE POZOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PECUARIA DE  
TRES REGIONES GEOMORFOLÓGICAS DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN

**TESIS**

QUE PRESENTA

ALFONSO GARCÍA JUÁREZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL GRADO DE:

MAESTRIA EN CIENCIA ANIMAL

ESCOBEDO, N.L., MÉXICO

DICIEMBRE DE 2012

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**CALIDAD DEL AGUA DE POZOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PECUARIA DE  
TRES REGIONES GEOMORFOLÓGICAS DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN**

**TESIS**

**QUE PRESENTA**

**ALFONSO GARCÍA JUÁREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL GRADO DE:**

**MAESTRIA EN CIENCIA ANIMAL**

**ESCOBEDO, N.L., MÉXICO**

**DICIEMBRE DE 2012**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



CALIDAD DEL AGUA DE POZOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PECUARIA DE  
TRES REGIONES GEOMORFOLÓGICAS DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN

Aprobación de tesis por el comité particular de

Alfonso García Juárez

Ph.D. Jorge R. Kawas Garza  
Asesor Principal

Dr. Gerardo De Lira Reyes  
Co-asesor

Dr. Sergio Eduardo Bernal García  
Co-asesor

Dr. Rigoberto E. Vázquez Alvarado  
Co-asesor

Dr. Hector Fimbres Durazo  
Co-asesor

ESCOBEDO, N.L., MÉXICO

DICIEMBRE DE 2012

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi madre por enseñarme a ser la persona que soy y a quien siempre le he admirado su fortaleza, carácter y dedicación para salir adelante en la vida.

A mis hermanas y mi padre por estar en los buenos y malos momentos de la vida.

A Marissa Loera, por estar siempre conmigo apoyándome incondicionalmente para que esto se lograra.

A mi asesor, el Ph.D. Jorge Kawas por brindarme estos conocimientos tan invaluable y el apoyo para finalizar este proyecto.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todo personal de AQUA LABORATORIOS (QFB. Blanca Marisol Galván Gutiérrez y TLQ. Esmeralda Ivone Mandujano) y de MNA de México (Ing. Gustavo Martínez Kawas) por el apoyo brindado durante el proceso.

Agradezco al Dr. Gerardo de Lira por todos los aportes a este mismo trabajo, al Dr. Emilio Olivares por toda su orientación y sabias palabras, al Dr. Sergio Bernal por acompañarme a recabar muestras para poder concluir el trabajo, y a todas aquellas personas que hicieron posible este trabajo. También les agradezco a los excelentes profesores del programa de la maestría del Posgrado Conjunta Agronomía-Veterinaria.

A mis compañeros por todos aquellos momentos que compartimos durante la realización de este trabajo.

Agradezco a mi familia postiza: Tía Teresa, Ana, Tete, Santiago, Paul, Eva, Elena, Juan, por dejarme entrar en sus corazones y en su vida.

A mi madre, ya que gracias a ella y solo a ella, esto ha sido posible. Marissa, simplemente no hubiera sido posible sin ti a un lado, te amo.

## ABREVIATURAS

As	Arsénico
BN	Balance de nitrógeno
°C	Grados centígrados
Ca	Calcio
CE	Conductividad eléctrica
Cl	Cloro
CO <sub>3</sub>	Carbonatos
CMS	Consumo de materia seca
CNF	Carbohidratos no fibrosos
Cu	Cobre
D	Día
EE	Error estándar
Fe	Fierro
G	Gramos
H	Hora

HCO <sub>3</sub>	Bicarbonato
K	Potasio
Kg	Kilogramo
kg <sup>0.75</sup>	Kilogramos ajustado por peso metabólico
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
Mg	Magnesio
Min	Minutos
ml	Mililitro
Mmol	Milimoles
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
MS	Materia seca
N	Nitrógeno
Na	Sodio
NNP	Nitrógeno no-proteico
NO <sub>3</sub>	Nitratos
N-NO <sub>3</sub>	Nitrógeno de los nitritos

NEFA	Ácidos grasos no-esterificados
L	Litro
P	Fosforo
Pb	Plomo
PC	Proteína cruda
PEM	Polioencefalomalacia
pH	Potencial de hidrógeno
PO <sub>4</sub>	Fosfatos
S	Azufre
SDT	Sólidos disueltos totales
SO <sub>4</sub>	Sulfatos
TG	Triglicérido
Zn	Zinc

## LISTA DE SIMBOLOS

%	Porcentaje
°C	Grados centígrados
<	Menor que
>	Mayor que
≥	Igual o mayor a
=	Igual a

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	vii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	15
<b>SUMMARY</b> .....	17
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	19
1.1. Objetivo .....	20
1.2. Hipótesis.....	20
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	21
2.1. Distribución del agua.....	21
2.2. Consumo de agua.....	23
2.3. Importancia biología.....	25
2.3.1. En animales.....	25
2.3.2. En plantas.....	27
2.4. Propiedades físico-químicas del agua.....	27
2.4.1. pH.....	27
2.4.2. Dureza.....	30
2.4.3. Sólidos disueltos totales .....	30
2.4.4. Minerales catiónicos .....	35
2.4.4.1. Calcio .....	36
2.4.4.2. Magnesio .....	36
2.4.4.3. Sodio.....	37
2.4.5. Minerales aniónicos.....	37

2.4.5.1. Azufre.....	37
2.4.5.2. Nitratos .....	39
2.4.6. Minerales contaminantes del agua .....	40
2.4.6.1. Hierro.....	40
2.4.6.2. Manganeseo .....	42
2.4.6.3. Minerales tóxicos .....	42
2.4.6.3.1. Arsénico .....	43
2.4.6.3.2. Molibdeno .....	43
2.5. Microbiología del agua.....	44
2.6. Relación aniónica-catiónica .....	45
2.6.1. Balance electrolítico para evitar problemas metabólicos.....	48
2.6.2. Efecto de la calidad del agua en la producción.....	49
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
3.1. Regiones geomorfológicas en el estado de Nuevo León.....	52
3.1.1. Sierra Madre Oriental (SMO) .....	52
3.1.2. Serranías y Cerros (SC) .....	54
3.1.3. Planicie de las Capas del Terciario (PCT).....	54
3.1.4. Municipios que integran las tres regiones geomorfológicas.....	54
3.2. Colección y manejo de las muestras.....	56
3.3. Análisis físico químico del agua.....	56
3.3.1. Determinación del pH.....	58
3.3.2. Dureza .....	58
3.3.3. Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.....	59
3.3.4. Minerales aniónicos y catiónicos.....	60

3.3.4.1 Cloruros .....	60
3.3.5. Acidez y alcalinidad.....	62
3.3.6. Análisis estadísticos.....	63
<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>64</b>
4.1. Calidad físico química del agua .....	64
4.2. Conductividad eléctrica.....	65
4.3. Sólidos disueltos totales .....	67
4.4. pH del agua.....	71
4.5. Dureza.....	75
4.6 Cationes totales .....	77
4.6.1. Calcio.....	78
4.6.2. Magnesio .....	78
4.6.3. Sodio.....	83
4.6.4. Potasio.....	87
4.7. Aniones totales .....	87
4.7.1. Cloro.....	90
4.7.2. Azufre.....	92
4.7.3. Bicarbonato.....	99
4.8. Minerales traza .....	100
4.9. Nitratos.....	109
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>113</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>114</b>

## INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Distribución de agua salina y agua dulce en la Tierra.....	22
Cuadro 2. Estimación del consumo de agua (litros/día) por bovinos:.....	24
Cuadro 3. Clasificación de la calidad del agua en base a las concentraciones de sólidos disueltos totales.....	31
Cuadro 4. Guía de contaminantes del agua.....	41
Cuadro 5. Diferentes municipios que componen las tres zonas geomorfológicas en el estado de Nuevo León.....	55
Cuadro 6. Valores medios para conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), pH y dureza del agua en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	66
Cuadro 7. Valores medios para minerales catiónicos como calcio (Ca), magnesio (Mg), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) de agua en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.	80
Cuadro 8. Valores medios para minerales aniónicos como azufre (S), bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ), y cloro (Cl) del agua en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	89
Cuadro 9. Valores medios para minerales traza como para hierro (Fe), manganeso (Mn) y cobre (Cu) de agua en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	104

Cuadro 10. Valores medios para nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y nitrógeno de los nitratos ( $\text{N-NO}_3$ ) de agua en tres zonas geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	111
---	-----

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	53
Figura 2. Distribución de las muestras en las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	57
Figura 3. Mapeo de las concentraciones de sólidos disueltos totales del agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	68
Figura 4. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de STD del agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	70
Figura 5. Mapeo de las concentraciones de pH del agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	72
Figura 6. Porcentaje de muestras con diferentes concentraciones de pH del agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	74
Figura 7. Mapeo de las concentraciones de dureza del agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León....	76
Figura 8. Mapeo de las concentraciones de calcio del agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	79
Figura 9. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de calcio, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	81

Figura 10. Mapeo de las concentraciones de magnesio en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	82
Figura 11. Porcentaje de muestras en agua de pozos con diferentes concentraciones de magnesio, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	84
Figura 12. Mapeo de las concentraciones de sodio en agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	85
Figura 13. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de sodio, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	88
Figura 14. Mapeo de las concentraciones de cloro en agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	91
Figura 15. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de cloro, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	93
Figura 16. Mapeo de las concentraciones de azufre en agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	94
Figura 17. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de azufre, de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	95
Figura 18. Mapeo de las concentraciones de sulfatos en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León....	97

Figura 19. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de sulfatos, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	98
Figura 20. Mapeo de las concentraciones de hierro en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	101
Figura 21. Mapeo de las concentraciones de manganeso en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	102
Figura 22. Mapeo de las concentraciones de cobre en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	103
Figura 23. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de hierro, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	105
Figura 24. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de manganeso, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	107
Figura 25. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de cobre, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.....	108
Figura 26. Mapeo de las concentraciones de nitratos en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León....	110

## RESUMEN

El agua es un componente esencial para la vida, que cubre un 70% del planeta, de la cual solamente el 0.65% es potable, el 2.05% está congelada, y la mayor parte (97.3%) está en los océanos. En el organismo animal, el agua tiene funciones vitales como ser vehículo para la digestión, absorción, metabolismo y el transporte de nutrientes a nivel celular, y es necesaria para la regulación de la temperatura corporal. Los requerimientos de agua varían dependiendo de factores que incluyen a la especie y estado fisiológico del animal, el ambiente, la dieta y el nivel de producción. La mala calidad del agua puede reducir el consumo de alimento y la producción, causar deficiencias de nutrientes, y afectar la salud y la reproducción. El objetivo de este estudio fue comparar la calidad del agua de pozos en sistemas de producción pecuaria de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León, identificadas como Sierra Madre Oriental (SMO), Serranías y Cerros (SC) y, Planicie de las Capas del Terciario (PCT). El estado de Nuevo León se encuentra en la región semiárida del noreste de México. Las alturas sobre el nivel del mar varían para estas regiones: SMO, de 550 a 2500 m; SC, de 200 a 550 m; y PCT, de 50 a 250 m. Doscientas ocho muestras de agua de pozo de sistemas de producción pecuaria de 37 municipios, de estas tres regiones del estado, fueron colectadas y analizadas para determinar su calidad. Los análisis físico-químicos incluyeron pH, dureza, concentración de sólidos disueltos totales (SDT), concentraciones de minerales (cationes, aniones, minerales traza) y nitratos. En general, la calidad del agua fue mejor ( $P < 0.001$ ), considerando los SDT, en pozos de la región SMO (1516 ppm), seguido por SC (2768 ppm), y la peor fue para PCT (9037 ppm). Entre mayor fue la concentración de SDT, mayor fue el pH del agua ( $P <$

0.001), siendo de 7.8 para PCT, 7.2 para SC y 6.9 para SMO. Las aguas de las tres regiones se pueden clasificar como moderadamente duras (69 a 81 mg/L de magnesio y calcio). La dureza del agua no está necesariamente correlacionada a la salinidad. La presencia de azufre en agua es común en el estado de Nuevo León, con > 167 ppm de azufre en 35% de las muestras de la región SMO, 31% en la región SC y 59% en la región PCT. Un alto nivel de sulfatos en agua puede causar una deficiencia de cobre, o causar una polioencefalomalacia, un padecimiento nerviosos del ganado que viene acompañado de ceguera, especialmente si el ganado consume alimentos con altos contenidos de azufre. Las concentraciones de hierro correspondientes para las regiones SMO, SC y PCT fueron de 0.07, 0.29 y 0.50 ppm, mientras que las concentraciones de manganeso fueron 0.29, 0.08 y 0.22 ppm, respectivamente. Niveles altos de hierro en agua (>0.30 ppm) puede causar una reducción en la absorción de cobre y reducir el consumo de materia seca por los animales. En conclusión, el agua de las regiones SMO y SC, son aptas para el consumo animal, aunque es importante considerar su contenido de minerales, para formular adecuadamente las dietas o los suplementos en los sistemas de producción. En contraste, las aguas de la región PCT son altamente salinas, con concentraciones excesivas (>7000 ppm) de sólidos disueltos totales, principalmente sodio, cloro y azufre, las cuales no son aptas para la producción intensiva.

## **SUMMARY**

Water is an essential component for life, covering 70% of the earth, of which only 0.65% is drinkable, 2.05% is frozen, and the majority (97.3%) is in the oceans. In the body, water has vital functions such being a vehicle for digestion, absorption and transport of nutrients at the cellular level, and is needed for body temperature regulation. Water requirements vary depending on factors such as animal species and physiological state, environment, diet and production level. Low quality water can reduce feed intake and animal production, cause nutrient deficiencies, and negatively affect health and reproduction. The objective of this study was to compare the quality of water of farm wells of three geomorphological regions of the state of Nuevo León, identified as Western Sierra Madre (SMO), Mountain Chains and Hills (SC) and, Plains of the Tertiary Layers (PCT). The state of Nuevo Leon is located in the semiarid region of northeast Mexico. The height above sea level varies for these regions: SMO, from 550 to 2500 m; SC, from 200 to 550 m; and PCT, from 50 to 250 m. Two hundred and eight water well samples were collected from farms of 37 municipalities, of these three regions, and analyzed to determine its quality. Physical-chemical analysis included pH, hardness, total dissolved solids (SDT) content, mineral concentrations (cations, anions, trace minerals) and nitrates. Considering the concentration of total dissolved solids, water quality was better ( $P < 0.001$ ) for wells from the SMO region (1516 ppm), followed by the SC region (2768 ppm), and the worst waters were for the PCT region (9037 ppm). As the concentration of total dissolved solids increased, water pH increased ( $P < 0.001$ ), being 7.8 for PCT, 7.2 for SC and 6.9 for SMO. The water in all three regions may be classified as moderately hard (69 to 81 mg/L magnesium and calcium). Hardness of the water is not

necessarily correlated with salinity. The presence of sulfur in water is common in the state of Nuevo León, with > 167 ppm sulfur in 35% of the samples in SMO region, 31% in SC region and 59% in PCT region. A high level of sulfates in water can cause a copper deficiency, or polioencefalomalacia, a nervous ailment of cattle that is accompanied by blindness especially if cattle consume high dietary levels of sulfur. Iron concentrations corresponding to regions SMO, SC and PCT was 0.07, 0.29 and 0.50 ppm, whereas the manganese concentration was 0.29, 0.08 and 0.22 ppm, respectively. High water iron concentrations (>0.30 ppm) can reduce copper absorption and reduce dry matter intake of animals. In conclusion, water from regions SMO and SC, are adequate for animal consumption, although it is important to consider its mineral concentrations in order to adequately formulate diets and supplements for farm animals. In contrast, waters from region PCT has a high salinity, with an excessive concentration (>7000 ppm) of total dissolved solids, primarily sodium, chlorine and sulfur, not being adequate for intensive animal production.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un componente esencial para la vida en el planeta, se distribuye en un 70% de ella, solamente el 0.65% es potable, el 2.05% está congelada, y la mayor parte (97.3%) está en los océanos, la cual contiene una cantidad mas de 30 gramos por litro de sólidos disueltos totales (SDT), y no es apta para consumo humano (Lagger *et al.*, 2002).

El agua es indispensable para la vida ya que constituye del 60 al 70% del peso corporal del ganado. Es necesaria para el mantenimiento de los fluidos corporales ya que los seres vivos están compuestos por 55 a 70% de agua. El agua también tiene funciones vitales, ya que es vehículo de la digestión, absorción, metabolismo y el transporte de nutrientes a nivel celular, está íntimamente relacionada en la eliminación de heces, orina, y regula la temperatura corporal del organismo, por medio de la regulación del sudor y la respiración (Faries *et al.*, 2002).

La cantidad de agua que consumen los animales depende de muchos factores tales como: edad, peso, raza, temperatura ambiental, temperatura del agua, humedad relativa, estado de lactancia, tipo de dieta y niveles de producción (Raisbeck *et al.*, 2008). La limpieza del bebedero también es un factor importante ya que estudios realizados han reportado que los animales que tienen acceso a agua limpia ganaron un 9% más de peso ( $P < 0.10$ ) (Willms *et al.*, 2002).

La mayoría de los minerales y SDT encontrados en el agua proveen beneficios nutricionales cuando se encuentran en bajos niveles (Runyan *et al.*, 2009), pero si exceden estos niveles pueden causar una disminución de la producción tanto

de leche y carne, así mismo como de enfermedades gastrointestinales, respiratorias, desordenes en el sistema nervioso o incluso la muerte de los animales (Sandals *et al.*, 1978).

La calidad físico-química del agua puede ser medida por el pH, la concentración de SDT y las concentraciones de los diferentes componentes presentes en ella, entre ellos, los compuestos inorgánicos tales como minerales (catiónicos, aniónicos, traza, tóxicos y nitratos).

## **OBJETIVO**

Comparar la calidad del agua de pozos de ranchos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León, identificadas como Sierra Madre Oriental, Serranías y Cerros y, Planicie de las Capas del Terciario.

## **HIPÓTESIS**

La calidad del agua en los sistemas de producción pecuaria del estado de Nuevo León varía dependiendo de la región geomorfológica donde se localice, pudiendo ser una limitante para la producción animal.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Distribución global del agua**

En el Cuadro 1 se presenta la distribución de agua salina y agua dulce en la Tierra. Del total de agua global, aproximadamente 97% del agua se encuentra en los océanos. La mayor parte del agua fresca (69%) se encuentra almacenada en los glaciares o capas de hielo, principalmente en Groenlandia y la Antártica. El resto del agua fresca se encuentra en el subsuelo. De toda el agua fresca de la Tierra, solamente el 0.3% se encuentra en los ríos o lagos. De ríos y lagos es de donde obtenemos la mayor cantidad de agua que tenemos disponible para nuestro uso diario. Del total de aproximadamente 333 millones de metros cúbicos de agua distribuida mundialmente, más del 96% es salina. Del total de agua fresca, más del 68% se encuentra en los glaciares y capas de hielo, 30% se encuentra como agua de subsuelo, y solamente 0.007% es agua de ríos y lagos. Debido a lo anterior, es notable la importancia del estudio de la distribución del agua en el subsuelo y de su calidad.

La geomorfología es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre o topografía terrestre. Es una rama de la geografía general que estudia las formas superficiales de la tierra, describiéndolas, ordenándolas sistemáticamente e investigando su origen y desarrollo. Es una rama de la geología o de las ciencias de la tierra. La geomorfología destaca los rasgos de un relieve determinado, si es alto o bajo, si es ondulado o quebrado, qué proporción de rocosidad o de suelo recubre la superficie, qué procesos erosivos presenta la superficie, etc. Ordenar

Cuadro 1. Distribución de agua salina y agua dulce en la Tierra.

Fuente de agua	Volumen de agua en kilómetros cúbicos	Por ciento del agua fresca	Por ciento del total de agua
Océanos, mares y Bahías	1,338,000,000	--	96.5
Glaciares, capas de hielo y nieve permanente	24,064,000	68.7	1.74
Agua superficial	23,400,000	--	1.7
Fresca	10,530,000	30.1	0.76
Salina	12,870,000	--	0.94
Humedad del suelo	16,500	0.05	0.001
Hielo superficial y Permafrost	300,000	0.86	0.022
Lagos	176,400	--	0.013
Fresca	91,000	0.26	0.007
Salina	85,400	--	0.006
Atmosfera	12,900	0.04	0.001
Agua en pantanos	11,470	0.03	0.0008
Rios	2,120	0.006	0.0002
Agua biológica	1,120	0.003	0.0001
Total	1,386,000,000	-	100

<sup>a</sup>Permafrost, suelo permanentemente congelado o helado.

Source: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

sistemáticamente significa clasificar o agrupar; de manera que se pueden reunir conjuntos particulares de formas de relieve, tomando en cuenta meramente su aspecto exterior o, en su defecto, el origen que explica su existencia. Esta ciencia puede desglosarse en diversos campos como, por ejemplo, las morfologías glacial, eólica, fluvial, costera, etc. El desarrollo de las formas de relieve se refiere al proceso evolutivo a que es sometida la superficie terrestre, gracias a la acción combinada de procesos internos, propios de la dinámica de la corteza, y de procesos externos, los cuales dependen de la acción del clima (Mullieried, 1944).

## **2.2. Consumo de agua**

El consumo de agua de algunas especies de animales domésticos puede ser estimado si se toman en cuenta las variantes de la raza, la edad y condición fisiológica, consumo de materia seca (CMS), temperatura ambiental y cantidad de leche producida. (Adams.et al., 2001; Beede, 2005; Lardy, 1999). El consumo puede verse afectado por las propiedades organolépticas del agua ya que las vacas productoras de leche pueden detectar olores y sabores, el color y la turbiedad pueden utilizarse para evaluar la calidad organoléptica (Beede, 2005).

En la Cuadro 2, se muestra como el tipo de producción, sexo y temperatura pueden afectar los consumos de agua. La temperatura del agua influye en el consumo de agua, debiendo evitar que los animales consuman agua a temperatura de congelación o muy caliente. La temperatura del agua debe estar entre 4.4°C y 18°C para un óptimo consumo. Novillos que tuvieron acceso a aguas fresca, tuvieron

Cuadro 2. Estimacion del consumo de agua (litros/día) por bovinos<sup>a</sup>

Temperatura °C	Vacas	Vacas secas, vaquillas	
	Lactantes	y terneros	Toros
2	50	27	32
4	52	27	36
10	57	30	39
18	71	36	48
23	77	41	55
26	80	46	59
32	75	66	86

<sup>a</sup>Adaptado de Lardy (1999).

una mayor ganancia de peso, amentando adicionalmente 140 a 180 g diarios (Lardy, 1999).

El excesivo consumo de agua puede deberse a una mayor concentración de cloruro de sodio (NaCl) o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en el agua, así como a una producción excesiva de orina causada por la contaminación con mercurio (Hg), exceso de nitrógeno no proteico (NNP) o nitratos ( $\text{NO}_3$ ) del agua (Adams., et al 2001).

## **2.3. Importancia biológica del agua**

### **2.3.1. En animales**

El agua es un nutriente esencial de alto consume y puede ser uno de los nutrientes mas críticos. La vida depende más de la disponibilidad del agua que de otros nutrientes. Una reducción de la disponibilidad de agua puede restringir el consumo de alimento y la eficiencia alimenticia, y adversamente afectar el crecimiento, la reproducción y la producción de leche (Kawas et al., 2012).

El agua es responsable de la estructura y la función de las células y sirve como solvente para la digestión, absorción, transporte y metabolismo de los nutrientes. El agua es requerida como un medio para las reacciones metabólicas y para la excreción de residuos metabólicos. El consumo de agua puede ser afectado por factores relacionados con el animal, el ambiente, la composición del alimento y la calidad del agua (Kawas et al., 2012).

El consumo de agua depende del tamaño corporal, la edad, la actividad física y el estado de salud de los animales, así como de los factores ambientales. Los caprinos consumieron dos litros de agua por kg de material seca durante un invierno fresco y húmedo, aumentando a una relación de 6:1 con el estrés por calor durante la

época calidad del verano (Denek et al., 2006). Con la actividad física, el consumo de agua también aumenta. Animales jóvenes requieren más agua que los de más edad. Sin embargo, mas agua es requerida para la producción de leche, ya que la leche de vacas y cabras contiene aproximadamente 87% de agua (Kawas et al., 2012).

Las caprinos del desierto son de los animales domésticos mas eficientes en el uso de agua, tolerando periodos prologados sin consumirla, pastoreando lejos de los abrevaderos (Silanikove, 2000). Algunos mecanismos que permiten que los caprinos sean menos susceptibles al estrés por las altas temperaturas que otros animales domésticos incluyen, su habilidad para mantener una economía en el uso del agua, junto con la capacidad para tolerar la deshidratación severa y rehidratase rápidamente. El rol del rumen como almacén de agua es una característica de los mamíferos del desierto, especialmente de los caprinos del desierto. La capacidad de caprinos del desierto para secretar grandes cantidades de saliva les permite tener una retención de agua seguida por la hidratación. Además de una menor necesidad de evaporación de agua corporal para mantener el confort en climas cálidos, los caprinos pueden conservar el agua mediante una reducción de las pérdidas en orina y heces (Silanikove, 2000; Merck, 2008).

Del peso corporal total de la vaca lechera, 56 a 81% es agua, mientras que la leche contiene aproximadamente 87% (Murphy, 1992), por lo que la vaca lechera tiene un alto requerimiento diario de este nutriente. El agua que contienen los alimentos y el agua metabólica, aquella obtenida de la oxidación de los nutrientes, contribuyen a satisfacer el requerimiento. Sin embargo, el agua de bebida es generalmente la principal fuente de agua requerida por la vaca en confinamiento, variando entre 95 y 100 litros diarios. Sin embargo, si el agua es de baja calidad, su

consumo puede reducirse, afectando negativamente el consumo de materia seca, la producción de leche y la salud de la vaca. El agua puede contribuir significativamente al requerimiento de minerales de la vaca lechera, por lo que se debe considerar la concentración de minerales en el agua para evitar un excesivo consumo de estos elementos (NRC, 2001).

### **2.3.2. En plantas**

Aproximadamente 90% de las plantas es agua. Las funciones que tiene el agua en la planta incluyen: (1) principal componente de la fotosíntesis y la transpiración; (2) mantenimiento de la estructura de las células y mantenimiento de la postura erecta de la planta; (3) solvente para mover minerales u otros nutrientes del suelo a la planta, y para mover los productos de la fotosíntesis a través de la planta, incluyendo hacia el sistema radicular; (4) Apertura o cierre de los estomas para regular la transpiración y la fotosíntesis; (5) fuente de presión para mover las raíces a través del suelo; y (6) medio para llevar a cabo las reacciones bioquímicas (Whiting et al., 2011).

## **2.4. Propiedades físico-químicas del agua**

### **2.4.1. El pH**

El pH es definido como la actividad del logaritmo negativo del ion hidrógeno ( $H^+$ ) en el agua, y nos habla acerca de la alcalinidad o acidez de la misma (Beede,

2005). Una muestra de agua con un nivel de 7 es neutra, abajo de 7 es ácida y mayor a 7 es alcalina (Morgan et al., 2011).

Con un pH de 7, la concentración de  $H^+$  es de  $10^{-7}$  moles por litro, mientras que con un pH de 3, la concentración de  $H^+$  es  $10^{-3}$  moles por litro (Raisbeck *et al.*, 2008). La alcalinidad del agua es impartida por la presencia de carbonatos ( $CO_3^-$ ),  $HCO_3^-$ , además de iones hidroxilos (Johnson et al., 1959). El líquido extracelular en los mamíferos normalmente se encuentra en un nivel de pH de 7.4. Un gran número de procesos fisiológicos dependen del pH, esto significa que cualquier variación puede ser perjudicial para el organismo (NRC, 2005). El balance acido-base representa un equilibrio dinámico entre la producción de ácido metabólico y su eliminación, influenciado por numerosos procesos, especialmente la respiración y la producción de orina (Raisbeck, 2008). Regularmente la mayoría del agua presenta una ligera alcalinidad (Bagley et al., 1997).

Un pH elevado reduce la efectividad de clorinación del agua, un pH bajo precipita o inactiva medicamentos adicionados al agua; las sulfonamidas son las más propensas a precipitarse (Raisbeck, 2008). El agua acida tienden a producir un sabor agrio, mejor descrito como metálico que puede influir en la palatabilidad en los animales (Raisbeck, 2008). Una acidosis producida por un pH bajo del agua consumida por el animal, estimula un incremento de la frecuencia respiratoria, reduce la concentración de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en sangre, que en combinación con el agua forma ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ), estimulando al riñón para producir orina más ácida, incrementando la eliminación de iones de  $H^+$ , lo cual resulta en la eliminación de ácidos y el incremento del pH plasmático a un nivel normal (NRC, 2005). El ion  $H^+$

puede reaccionar químicamente con amortiguadores químicos como el hueso, minimizando el cambio de nivel del pH (Bushinsky, 2003).

El consumo excesivo de agua alcalina o acida puede afectar a los animales de cuatro maneras. Primero, el consumo de agua acida o alcalina, especialmente alcalina, puede producir un daño en el tejido de la boca y orofaríngeo, causando irritación, y que el animal se rehuse a consumirla. Segundo, un nivel inusual de pH puede disolver materiales de los contenedores de agua, plomería, etc., que puede dejar minerales tóxicos o impartir sabores inapropiados para el consumo. Por ejemplo, grandes concentraciones de cobre (Cu), hierro (Fe) y plomo (Pb) pueden incrementar la acidez del agua (Nordberg, 1985; DeZuane, 1990). El consumo de agua ácida puede disolver el esmalte dental de los animales y debilitar los dientes (Tolo, 1969; Ritskes-Hoitinga, 1998). Por último, una gran cantidad de agua ácida o alcalina puede cambiar el balance ácido-base del organismo (Raisbeck, 2008).

La lluvia ácida que es producida por la contaminación en el ambiente, afecta negativamente a los animales acuáticos, principalmente por minerales tóxicos como el aluminio (Al). Los mamíferos son considerablemente menos sensibles aunque la acidez sugiere la presencia de Pb y cobre Cu en el agua (Raisbeck, 2008). Un rango normal de pH del agua para consumo animal es de 5.5 a 8.3 (Bagley et al., 1997; Morgan et al., 2011), aunque algunos autores sugieren niveles adecuados varían entre 6.5 y 8.5 (Markwick, 2001; Curran et al., 2007; Morgan et al., 2011).

### **2.4.2. Dureza**

La dureza es una propiedad fisicoquímica del agua que es generalmente una medida de las concentraciones de los iones calcio (Ca) y magnesio (Mg). El agua que contiene cantidades elevadas de  $\text{Ca}^+$  y  $\text{Mg}^+$  es considerada como dura (Bagley et al., 1997; Beede, 2005), y se le llama así porque es difícil hacer espuma de jabón con este tipo de agua (Bagley et al., 1997). Otros elementos que contribuyen a la dureza incluyen el zinc, hierro, estroncio, aluminio, y manganeso. Sin embargo, estos están generalmente presentes en muy bajas concentraciones (NRC, 2001). Este tipo de agua no representan un gran peligro para la salud o la producción de los bovinos, ya que la dureza en el agua no aumenta la incidencia de cálculos renales (Bagley et al., 1997), pero sí afecta negativamente a los detergentes que son utilizados en la limpieza de las salas de ordeña (Lagger et al., 2002), lo que provoca que se tengan que utilizar detergentes más agresivos, más costosos y que deterioran los sistemas de ordeño. El agua se clasifica como suave cuando contiene de 0 a 60 mg/L  $\text{Ca}^+$  y  $\text{Mg}^+$ , moderadas de 61 a 120 mg/L, duras de 121 a 180 mg/L y muy duras a niveles superiores a 180 mg/L (Bagley et al., 1997; NRC, 2001). El agua altamente dura que contenía niveles superiores a 290 ppm no tuvo efecto en la producción de leche (Beede, 2005).

### **2.4.3. Sólidos disueltos totales**

En el Cuadro 3 se presentan los sólidos disueltos totales (SDT) del agua y como afectan a la producción animal. Los SDT hacen referencia a la salinidad que

Cuadro 3. Clasificación de la calidad del agua en base a las concentraciones de solidos disueltos totales.

Concentración (ppm)	Observaciones
< 999	Excelente para consumo de cualquier especie animal. Concentraciones menores a 1000 ppm son las recomendadas para consumo humano.
1,000 - 2,999	Estos niveles son satisfactorios para rumiantes. Con aves, se pueden presentar diarreas.
3,000 a 4,999	Estos niveles pueden ser tolerados por los rumiantes, aunque diarreas se pueden presentar en animales no acostumbrados a este tipo de agua. No se debe ofrecer aves ya que incrementa la incidencia de diarreas, reduciendo las ganancias de peso, e inclusive, incrementando la mortalidad.
5,000 a 6,999	Se debe limitar el consumo de esta agua, o mezclarla con agua de mejor calidad, para ser consumida por bovinos productores de leche y carne, ovejas, cerdos y caballos. Evitar ofrecer este tipo de aguas a animales lactantes o preñados. Puede reducir la producción, el crecimiento e incrementar la mortalidad de los animales.
> 7,000	Existe un considerable riesgo de mortalidad en los animales que consumen agua con estas concentraciones, por lo que debe evitarse su consumo.

presenta el agua (Bagley et al., 1997; Lardy, 1999; Beede, 2005). Los sólidos disueltos totales, las sales solubles totales y la salinidad son términos usados sinónimamente, para evaluar la calidad del agua mediante la determinación de sus propiedades fisicoquímicas.

Los elementos comúnmente encontrados son aniones (iones con carga negativa) como los carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), cloro ( $\text{Cl}^-$ ) y fosforo ( $\text{P}^-$ ), así como elementos catiónicos (iones con carga positiva) como calcio ( $\text{Ca}^+$ ), magnesio ( $\text{Mg}^+$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) (Hoffman et al., 1972; Bagley et al., 1997; Curran et al., 2007; Raisbeck, 2008; Morgan, 2011). Otros componentes de la fracción soluble en agua son sílice, hierro, nitratos, estroncio, y fluoruro (NRC, 2001). Los SDT son expresados en partes por millón (ppm), lo que equivale a miligramos por litro (mg/L) (Bagley et al., 1997; Raisbeck, 2008).

Los efectos de la salinidad en la salud y la producción de los animales depende de la especie, raza, edad de los animales, el contenido minerales en el alimento que consumen, la temperatura ambiente, la temperatura del agua y los minerales presentes en el agua (Curran et al., 2007). Estudios epidemiológicos sugieren que niveles de SDT en una cantidad menor a 1000 ppm protegen a los humanos del cáncer y enfermedades del corazón (Burton, 1977; Moncarca, 2006).

Los bovinos pueden tolerar cantidades relativamente altas de SDT pero solo por un tiempo determinado, más sin embargo, dependerá de la raza, edad, cantidad de agua consumida, clima, condición fisiológica y el tipo de producción la que determine la tolerancia de los bovinos por aguas con altos niveles de SDT (Bagley et

al., 1997; Lardy et al., 1999; Curran et al., 2007). Altos contenidos de sal reduce el desempeño, posiblemente por el incremento de la osmolaridad del rumen, lo cual deprime el consumo de materia seca (Willms et al., 2002).

La presencia de solutos extraños reduce la habilidad del agua como solvente de nutrientes en el organismo. Los mamíferos gastan una cantidad considerable de energía para el mantenimiento de la osmolaridad. La presencia de SDT en el agua afectan el crecimiento, la producción de leche y la recuperación ante enfermedades (Raisbeck, 2008).

Es muy importante tomar en cuenta los factores ambientales que se puedan presentar en el hato y el confort que se les brinda a los bovinos. Ganado lechero que consumió agua con una concentración de 2000 ppm SDT mostró signos de estrés (Weeth et al., 1960). Con un nivel de 2040 ppm, las vacas produjeron menos leche cuando la temperatura ambiental fue de 32.1 °C (Solomon, 1995). Un nivel mayor a 5000 ppm de SDT afecto la producción de leche, sobre todo durante el verano (Lagger et al., 2002). Se ha demostrado que no es necesario llegar a concentraciones entre 5000 a 7000 ppm de SDT para que se vea afectada la producción, ya que la producción de leche de vacas que consumían agua con una concentración de 2500 ppm de SDT se redujo (Beede, 2005), mientras que vacas que consumieron agua con 3500 ppm de SDT no tuvieron un efecto negativo en la producción (Beede, 2005).

Con bovinos de engorda, las ganancias de peso tendieron a reducirse con altas temperaturas cuando consumía agua con concentraciones de 6000 ppm de

SDT (Beede, 2005), mientras que bovinos que consumieron agua con 15,000 ppm de SDT a una temperatura ambiente baja, bebieron más agua, consumieron mas alimento, pero mostraron signos de deshidratación (Weeth et al., 1961).

Se ha reportado que bovinos que consumieron agua con 5000 ppm redujeron su consumo de materia seca (CMS) y la ganancia diaria de peso (Saul et al., 1985; Ray, 1986). Animales que se rehúsan a consumir agua con altos niveles de SDT por un tiempo prolongado llegan a enfermar o morir (Lardy et al., 1999). El agua con niveles mayores a 10,000 ppm de SDT es inadecuada para el consumo animal bajo cualquier circunstancia, ya que concentraciones de 12,500 ppm causaron toxicosis por Na en bovinos (Morgan, 2011). La toxicosis por agua salada en bovinos de engorda causa un trastorno del sistema digestivo produciendo severo timpanismo y del sistema nervioso central con síntomas de nerviosismo, temblores, incoordinación, convulsiones, ataxia, hipersensibilidad al tacto o a los sonidos seguido de la muerte (Sandals et al., 1978). Estos problemas de salud y producción pueden verse exacerbados cuando existe una sinergia entre altas concentraciones de SDT en combinación con altos niveles de  $\text{SO}^{4-}$  (Patterson et al., 2003).

La toxicosis por agua salina en los rumiantes incrementa la presión osmótica en el rumen, esto causa un decremento en la población microbiana ruminal y la actividad metabólica, lo que produce una reducción en el consumo de MS. Los signos clínicos por toxicosis son deshidratación, dolor abdominal, mayor cantidad de deyecciones por vía urinaria, mucosidad nasal, falta de apetito, diarrea, vomito, falla del riñón, postración, y signos nerviosos como temblores y convulsiones, ceguera y

la muerte (Curran et al., 2007). Cerdos que sobrevivieron cuando se les brindó agua con 10,000 a 15,000 ppm de SDT, redujeron su consumo de agua y alimento, y tuvieron una menor (Heller, 1933). Los ovinos son más tolerantes a altas concentraciones de SDT que las demás especies domésticas durante largos periodos de tiempo (Peirce, 1960; Potter, 1963; Weeth., et al., 1968; Potter et al., 1972; Pierce, 1968; Ahmed, 1989). Como se observa en el Cuadro 3, se ha reportado que la utilización de agua con altos niveles de SDT en conjunto con altos niveles de  $\text{SO}_4^-$ , aumentó en 12% la incidencia de polioencefalomalacia y en 5% la mortalidad de los animales.

Algunos estudios realizados para determinar los efectos de los SDT en agua en el desempeño de vacas lecheras, ha generado resultados variables con respecto al consumo de agua, consumo de alimento y producción de leche (NRC, 2001). Sin embargo, se ha reportado que altos niveles de SDT en combinación con una alta temperatura ambiental tiene un detrimento en la producción de vacas lecheras (Solomon et al., 1995; Sanchez et al., 1994; Challis et al., 1987). El consumo de agua con <5,000 ppm de SDT puede ser ofrecida a vacas lecheras sin afectar significativamente la producción, sin embargo, agua que contiene > 7,000 ppm de SDT es inaceptable para el consumo de vacas lecheras (NRC, 2001).

#### **2.4.4. Minerales catiónicos**

El agua que contiene altas concentraciones de minerales con carga positiva, causan que se eleve el pH de la sangre de los animales que la consumen

provocando un estado de alcalosis metabólica, lo cual produce una disminución en la movilización de  $\text{Ca}^{+}$  de los huesos (Sexson et al., 2009).

#### **2.4.4.1. Calcio**

El  $\text{Ca}^{+}$  es un mineral importante para la estructura ósea, necesario para el crecimiento y desarrollo, pero cuando se consume agua con altos niveles de  $\text{Ca}^{+}$  se pueden presentar trastornos como hipocalcemia puerperal en vacas lecheras. El nivel de  $\text{Ca}^{+}$  en la dieta preparto de la vaca lechera debe de ser tomado en cuenta para evitar la hipocalcemia. Si el agua contiene 500 ppm de  $\text{Ca}^{+}$  y la vaca consumiera 60 litros de agua, estaría incorporando a la dieta 30 g de  $\text{Ca}^{+}$  (Lagger et al., 2002). Adams., et al. (2001) y Beede (2005) recomiendan que no pase de 500 ppm el contenido de  $\text{Ca}^{+}$  para no afectar la salud de los animales.

#### **2.4.4.2. Magnesio**

En cuanto al  $\text{Mg}^{+}$ , no hay suficientes estudios que comprueben que altos niveles de este macromineral puede afectar negativamente la producción o salud de los animales (Beede, 2005), sin embargo, se pueden presentar diarreas si el animal consume agua con altos niveles de  $\text{Mg}^{+}$  (Lagger et al., 2000).

### **2.4.4.3. Sodio**

En animales que tiene acceso a agua de bebida, la concentración de sal en la dieta puede ser muy alta sin afectar al animal. Una intoxicación aguda se descarta esencialmente si los animales usan el agua para eliminar de sus organismos la sal no requerida para regular la osmolaridad de la sangre. Por otro lado, el mayor factor determinante de una intoxicación con sal es su disponibilidad en agua de bebida. En la ausencia de agua, o si la única fuente de agua contiene sal, hay un alto riesgo de intoxicación (NRC, 2005).

### **2.4.5. Minerales aniónicos**

#### **2.4.5.1. Azufre**

El agua que contiene  $\text{SO}_4^-$  tiene un olor característico a huevo podrido (Beede, 2005), pero los animales pueden acostumbrarse a él. El máximo nivel recomendado para bovinos jóvenes es de 500 ppm, mientras que para los bovinos adultos, este valor debe ser menor a 1000 ppm (Bagley et al., 1997; Lardy et al., 1999), aunque se observó que un nivel de 291.2 ppm afectó el consumo de alimento de novillos (Cammack et al., 2010). Un nivel de 1200 ppm en vacas produjo una reducción en el consumo de alimento, producción de leche, e incremento en las incidencias de placenta retenida y de la displasia abomasal (Beede, 2005), e incrementó la incidencia de polioencefalomalacia (Grout et al., 2006).

Los efectos del  $\text{SO}_4^-$  puede ser mayor cuando existe una interacción con altos niveles de SDT. El incremento de las concentraciones de  $\text{SO}_4^-$  en el agua producen una disminución lineal en el peso final del ganado de engorda, peso caliente de la canal y un incremento del área del músculo longissimus (Loneragan et al., 2001). La cantidad de marmoleo que se observa en las canales, es un aspecto básico para poder clasificarlas y brindar un grado de calidad. Animales que consumieron agua con un nivel de 1993 ppm de  $\text{SO}_4^-$  tuvieron un mayor marmoleo ( $P = 0.04$ ) en el músculo longissimus que aquellos que consumieron agua con un nivel de 608 ppm de  $\text{SO}_4^-$ , aunque también redujo el peso de la canal caliente ( $P = 0.08$ ) (Sexson et al., 2009). Por lo que animales que consumieron agua con una cantidad de 1993 ppm de  $\text{SO}_4^-$  redujeron su consumo de agua y alimento, la ganancia diaria de peso, el peso vivo final y el peso de la canal caliente (Sexson et al., 2009).

El  $\text{S}^-$  derivado de los  $\text{SO}_4^-$ , afecta al ganado de dos maneras; primero: el  $\text{S}^-$  compite a nivel rumen por el Cu, haciéndolo indisponible para el rumiante, lo cual afecta el desempeño y reproducción del bovino; segundo, los microorganismos ruminales reducen el  $\text{S}^-$  a sulfuro de hidrógeno, el cual es tóxico en grandes cantidades e interfiere con la respiración a nivel celular (Gould et al., 2002). El nivel máximo de  $\text{S}^-$  recomendado es menor de 167 ppm para bovinos jóvenes y menos de 333 ppm para bovinos adultos (Bagley et al., 1997; Lardy et al., 1999). El  $\text{S}^-$  es la causa principal de la enfermedad de polioencefalomalacia, denominada así por que describe el ablandamiento y necrosis de la materia gris del cerebro (Hamlen et al., 1993). La polioencefalomalacia es un desorden neurológico que afecta a los rumiantes presentando: anorexia, ataxia, ceguera, letargia, temblores musculares,

diarrea, masticación repetitiva (Cammack et al., 2010) y la muerte (Hamlen et al., 1993).

#### **2.4.5.2. Nitratos**

Agua de bebida, especialmente superficial o agua de pozos poco profundos puede contaminarse con altos niveles de nitratos. Fuentes de nitratos en agua incluyen a los fertilizantes, desechos de origen animal como heces y orina, esquilmos agrícolas o desperdicios industriales.

Las bacterias presentes en el rumen tienen la capacidad de convertir el  $\text{NO}_3^-$  a nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) (Bagley et al., 1997), los que son absorbidos al torrente sanguíneo, reduciendo la capacidad de transportar el oxígeno (NRC, 2001). Altos niveles de  $\text{NO}_3^-$  rara vez causan efectos de toxicidad en los rumiantes, sin embargo, cuando hay N- $\text{NO}_3^-$ , el animal es más susceptible a enfermarse y bajar su producción. Aunque algunos autores han relacionado a los problemas reproductivos con altos niveles de  $\text{NO}_3^-$  (Beede, 2005). Los signos clínicos por intoxicación con N- $\text{NO}_3^-$  incluyen, falta de coordinación, asfixia y dificultad para respirar, incremento en el latido del corazón, salivación, convulsiones, coloración azul en las membranas mucosas, color café de la sangre, vomito y abortos (Bagley et al., 1997; NRC, 2001).

Concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  mayores a 1300 ppm son consideradas potencialmente tóxicas (Bagley et al., 1997), aunque niveles entre 178 a 443 ppm representan un riesgo y puede haber muerte de algunos animales (Beede 2005).

Niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  mayores a 300 ppm son potencialmente tóxicos (Bagley et al., 1997) y otros autores reportan que aguas con niveles entre 41 a 100 ppm son altamente riesgosas, pudiendo haber algunas muertes por el consumo de la misma (Beede, 2005). Concentraciones de  $\text{N-NO}_3^-$  en agua de <10 mg/dl y de nitratos menores de 44 mg/dl son considerados seguras para el ganado lechero (NRC, 2001).

#### **2.4.6. Minerales contaminantes del agua**

En la Cuadro 4 se presenta una guía con el límite superior que debe contener de agua de algunos contaminantes, incluyendo aluminio, arsénico, boro, cadmio, cromo, cobalto, cobre, flúor, plomo, manganeso, mercurio, níquel, selenio, vanadio y zinc (NRC, 2001).

##### **2.4.6.1. Hierro**

El Fe es probablemente uno de los elementos traza que más puede afectar la calidad del agua para consumo animal. Altos niveles imparten un sabor desagradable, reduciendo la aceptabilidad por el animal, e interfiriendo con la absorción de Cu y zinc (Zn) presentes en la dieta de los bovinos (Beede, 2005). Concentraciones mayores a 0.3 ppm (300 ppb) son consideradas un riesgo para

Cuadro 4. Guía de contaminantes del agua.

Nutriente toxico o contaminante	Guía de límite superior (mg/l o ppm)
Aluminio	0.5
Arsénico	0.05
Boro	5.0
Cadmio	0.005
Cromo	0.1
Cobalto	1.0
Cobre	1.0
Floro	2.0
Plomo	0.015
Manganeso	0.05
Mercurio	0.01
Níquel	0.25
Selenio	0.05
Vanadio	0.1
Zinc	5.0

Fuente: NRC (2001)

consumo humano, afectando también la producción y desempeño de las vacas lecheras (Beede, 2005).

#### **2.4.6.2. Manganeseo**

El manganeseo (Mn) tiene poca información de cómo afecta la producción o desempeño de los bovinos cuando está presente en el agua, mas sin embargo, concentraciones mayores de 0.05 ppm afectan el consumo de agua por el mal sabor que causa (Beede, 2005).

#### **2.4.6.3. Minerales tóxicos**

Agua superficial, y ocasionalmente, agua de pozo profundo o agua para uso doméstico pueden contener niveles excesivos de ciertos minerales debido a niveles naturalmente elevados en la superficie. Entre los minerales que mas comúnmente puedan llegar a niveles tóxicos en las fuentes naturales de agua son azufre, sodio, manganeseo, selenio y flúor. Minerales también pueden ser introducidos a las fuentes de agua por su contacto con desechos industriales, pesticidas, u otras fuentes de contaminación (NRC, 2005).

#### **2.4.6.3.1. Arsénico**

El arsénico (As) es un mineral metaloide que se encuentra de manera natural en el agua y el suelo, pero se pueden encontrar grandes cantidades por contaminación causada por el hombre en zonas mineras, con la extracción de petróleo, gas natural y carbón (Eisler, 2004). Se sabe que es un elemento esencial para los no-rumiantes, y posiblemente, lo sea para los rumiantes, teniendo como limite máximo de tolerancia (toxicidad) de 50 ppm para el As en forma inorgánica y de 100 ppm cuando se encuentra en forma orgánica. Sin embargo, una dosis de 200 ppm no afectó al ganado (Lagger *et al.*, 2000). Runyan *et al.* (2009) recomienda que el nivel máximo para As sea de 0.02 ppm (20 ppb), ya que puede ser almacenado en el cuerpo y causar una toxicidad que terminaría en la muerte del animal.

#### **2.4.6.3.2. Molibdeno**

El molibdeno (Mo), un elemento esencial requerido para la fijación del nitrógeno y la reducción de nitritos y nitratos en plantas y bacterias, se encuentra distribuido en todo el mundo (Raisbeck, 2008). Otras fuentes de Mo en el ambiente puede ser por causa de la contaminación industrial de metales derivados de la manufactura. En el forraje, las concentraciones de Mo varían dependiendo de la humedad y el pH del suelo en el que crece el forraje. En suelos alcalinos se

incrementa la biohabilidad de las plantas de retener Mo y ser tóxico cuando lo consumen los animales (Raisbeck, 2008).

El Mo es un elemento esencial para los mamíferos ya que está involucrado como cofactor con las enzimas aldehído oxidasa, sulfito oxidasa, y xantina oxidasa. Estas enzimas también catalizan la oxidación o el metabolismo del S. Experimentalmente, dietas con deficiencia de Mo, disminuyeron el consumo de alimento y causó una reducción de 25% del peso vivo de cabras adultas. Los efectos reproductivos observados con una deficiencia de Mo incluye la reducción del grado de preñez y alta mortalidad de neonatos. Los requerimientos en la dieta son muy bajos (100 ppb, en base MS); por lo tanto, una deficiencia es muy rara bajo condiciones naturales (Raisbeck, 2008). Una vez ingerido, el Mo es absorbido desde el intestino delgado, donde el  $\text{MoO}_4$  es activado para ser transportado a través de la mucosa epitelial.

## **2.5. Microbiología del agua**

La producción animal genera desperdicios que pueden usarse como fertilizante, sin embargo, muchos grandes sistemas de producción como engordas de ganado en corral, establos lecheros, y granjas avícolas o porcícolas, no pueden procesar estos desechos, teniendo que almacenar el excremento líquido en lagunas de oxidación de millones de litros de capacidad (NRDC, 2006). Las heces fecales húmedas pueden contener hasta 100 millones de bacterias coliformes por gramo, así como amoníaco, nitrógeno, fósforo, así como otros nutrientes y microbios (Cole et al.,

2000). La bacteria E. Coli se ha encontrado en una cuarta parte de los corrales de engorda de los Estados Unidos de América (Wallinga, 2004).

Este excremento líquido puede ser esparcido en cantidades excesivas para fertilizar o puede haber filtraciones que contaminen al agua del subsuelo. El nitrógeno y el fósforo pueden ayudar en el crecimiento de las plantas cuando se aplican en cantidades razonables, aunque pueden ser peligrosos en altas concentraciones. Además, el agua contaminada de los pozos puede contener nitratos, los cuales son compuestos generados por la descomposición de los compuestos nitrogenados por los microorganismos (Krinder, 1987). El consumo de agua contaminada con nitratos puede contribuir al desarrollo de defectos fetales y abortos (Cole et al., 2000). El agua contaminación con heces puede esparcirse a través de los acuíferos subterráneos o en productos lavados con agua contaminada.

## **2.6. Relación aniónica-catiónica**

Mucha atención se dado a los requerimientos para mantenimiento y producción de la mayoría de los nutrientes, incluyendo proteína, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales. Los nutrientes se han subdividido para rumiantes en subclases específicas para definir los requerimientos con más precisión, que permita mejorar la formulación de raciones a partir de análisis químicos de los alimentos. Este es el caso de la proteína cruda, la cual se ha dividido en degradable e indegradable, o en el caso de los carbohidratos, como estructurales y no-estructurales. En el caso de los minerales que se subdividen en macro-minerales y

minerales traza, se deben considerar además de las cantidades requeridas, las funciones biológicas en el organismo animal, que incluyen la expresión y regulación de los genes, sistemas enzimáticos que regulan la función celular, el balance osmótico, la detoxificación, el balance ácido-base, y sus funciones estructurales (Block, 1994).

El diferencia (balance) catiónico-aniónico (DCAD) en la dieta ha sido definido como los miliequivalentes de  $(\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S})$  por kg de materia seca y tiene un impacto directo en el metabolismo ácido-base. Conforme esta diferencia disminuye, uno o más de los siguientes parámetros sanguíneos cambia: aumento de  $\text{H}^+$ , reducción de  $\text{HCO}_3^-$ , y reducción del pH. Estos cambios están acompañados con una reducción de la excreción urinaria de  $\text{HCO}_3^-$ , y del pH como mecanismos compensatorios. Aunque otros minerales tienen un impacto en el metabolismo ácido-base, cuatro minerales ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{S}^-$ ) comúnmente usados para calcular la DCAD son los que mas afectan esta relación. La manipulación del balance ácido-base puede ser usada para manipular otras funciones biológicas para beneficiar la salud y productividad de vacas lecheras y otros animales domésticos (Block, 1994).

El concepto de balancear dietas considerando los aniones y cationes no es nuevo en la nutrición animal ya que se ha usado para formular dietas para aves. En el balance de raciones, el termino “iones fijos” se refiere a los iones biodisponibles que no son metabolizados, particularmente el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$ . El balance iónico fijo juega un rol principal en determinar el balance ácido-base en fluidos biológicos. El azufre no es un ion fijo, ya que los sulfatos acidifican directamente los fluidos

biológicos y pueden alterar el balance ácido-base si son incluidos en altas concentraciones (Whiting and Draper, 1981). Consecuentemente, la mayoría de las estimaciones del DCAD utiliza los siguientes cálculos:

$$\text{DCAD (meq/kg MS)} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) + (\text{Cl}^- + \text{S}^-)$$

Estos minerales tienen importancia en la nutrición de rumiantes debido a su participación indirecta en el balance osmótico, el balance e integridad acido-base, y los mecanismos de bombeo de las membranas celulares. Sin embargo, es importante que estos elementos no estén en niveles de deficiencia o toxicidad en las dietas de los rumiantes, para tener un efecto benéfico del DCAD.

Ninguna reacción ocurre cuando  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  forman álcalis (bases). Sin embargo, estos iones, así como el  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{S}^{2-}_4$ , indirectamente afectan la concentración de  $\text{H}^+$  en el organismo mediante sistemas de amortiguación (buffer), función renal, y respiración celular. Consecuentemente, la DCAD no determina las propiedades acidogénicas o alkalogenicas de los alimentos, sin embargo, puede afectar los procesos metabólicos en el animal mediante la absorción y el metabolismo de estos iones. Probablemente la participación indirecta de los iones en la función hepática, los sistemas buffer, y el mantenimiento celular es responsable por cualquier de los efectos observados de alterar el balance de estos iones (Block, 1994).

Por otro lado, la mayor parte del nitrógeno excretado (60 a 80%) por el ganado en los corrales de engorda es a través de la orina (Bierman et al., 1999).

Consecuentemente, reducir el pH de la orina puede reducir la cantidad de amoniaco que se volatiliza mediante un mayor cambio del nitrógeno de la orina a ion amonio. Luebbe et al. (2011) llevaron a cabo 6 experimentos en los que cambiaron el balance catiónico-aniónico (DCAD) de la dieta de ganado en corral con el propósito de cambiar el equilibrio de la reacción de amoniaco a ion amonio mediante la acidificación de las excretas del ganado. Estos autores propusieron la hipótesis que considera que si la orina y el pH fecal en la superficie del corral puede ser reducido mediante una alteración de la DCAB en la dieta, las pérdidas de nitrógeno pueden reducirse. Los resultados demostraron que un DCAB negativo redujeron el pH de la orina, aunque tuvieron un efecto mínimo en la pérdida de nitrógeno en corrales de engorda abiertos.

### **2.6.1. Balance electrolítico para evitar problemas metabólicos**

Se ha demostrado que balance electrolítico, modificando el DCAB, tiene un efecto en los animales a través de la alteración del balance ácido-base y estatus mineral del ganado. Golf et al. (2004) reportaron que dietas altas en cationes causan que el pH de la sangre aumente, lo que resulta en una reducida habilidad para movilizar calcio del hueso, ya que al reducirse el DCAD, se reduce el pH de la sangre, mejorando la homeostasis del calcio.

Una baja DCAD preparto puede mitigar la hipocalcemia postparto vía un aumento del Ca urinario, la ionización del Ca en sangre, y una respuesta a las hormonas que mantienen la homeostasis del Ca en sangre. Estos cambios reducen

la incidencia de paresis al parto y aumentan la productividad mediante una reducción de la severidad y longitud de la hipocalcemia en todas las vacas recién paridas, sin importar la ocurrencia de paresis. Una reducción preparto del balance catiónico-aniónico ha sido relacionada con una reducción de la severidad del edema de la ubre, posiblemente relacionado a un aumento de la pérdida renal de agua, sin un cambio del consumo de agua. Sin embargo, los efectos en el balance ácido-base no pueden ser descartados debido a los efectos en los procesos bioquímicos y de transporte.

Por otro lado, se ha demostrado que un balance catiónico-aniónico durante la lactancia aumenta el consumo de materia seca y la producción de leche, y reduce el efecto del estrés por calor. Debido a que la producción de leche y el calor son acidogénicos, un DCAD elevado mejora la capacidad buffer de la sangre para lidiar con los  $H^+$ . Otras enfermedades relacionadas con el ácido metabólico como la laminitis y la ketoacidosis, pueden ser influenciadas por el DCAD (Block, 1994).

### **2.6.2. Efecto de la calidad del agua en la producción**

Mediante un balance del DCAD se ha demostrado una alteración de la producción de leche (Tucker et al., 1988), la ganancia diaria de peso del ganado en corral (Ross et al., 1994a, b), y la eficiencia alimenticia (ganancia de peso por kg de alimento consumido) de novillos en crecimiento (Ross et al., 1994a).

Durante el estrés por calor, no debemos ignorar un alto consumo elevado de agua con una relación elevada catión-anión (Block, 1994). West et al. (1992) reportó que un aumento del DCAB aumentó el consumo de materia seca de vacas bajo estrés por calor, lo que resultó en un aumento en el consumo de agua. Aumentando el DCAB en las dietas puede afectar el desempeño y las características de la canal de bovinos de engorda, especialmente durante el verano cuando las temperaturas ambientales son altas. Aumentando el DCAD puede también puede tener un beneficio al aminorar la reducción del consumo de alimento y del crecimiento que se observa con ganado que consume agua con un alto nivel de sulfatos.

Para mejorar la calidad del agua para consumo animal, varios procesos se han usado para remover o reducir los contaminantes. El tratamiento del agua puede ser caro y puede requerir un mantenimiento significativo. Para determinar si conviene tratar el agua para consumo animal, el agua primero debe analizarse. El tratamiento debe ser redituable, resultando en una mejor salud y producción. La osmosis inversa, un proceso para reducir los sólidos disueltos totales del agua, remueve nitratos, sulfatos y otros minerales mediante la separación del agua de la solución salina. Esto ocurre cuando el agua bajo presión es forzada a través de una membrana semi-permeable.

En un estudio con cuatrocientos treinta y dos novillos de engorda, Sexson et al. (2010) investigó los efectos de la calidad del agua y la inclusión de un catión, el potasio, para aumentar el DCAD en el comportamiento productivo y las características de la canal. En el estudio se consideró un diseño factorial 2 x 3 (una mezcla de agua de pozo y agua tratada a base de osmosis inversa (608 ppm de

sulfatos), o agua del pozo (1933 ppm de sulfatos), y tres niveles de K en la dieta). El consumo de materia seca tendió a ser mayor ( $P = 0.10$ ) para el grupo de animales que consumieron el agua tratada con osmosis inversa, en comparación con el agua de pozo. Ganado mas pesado ( $P < 0.001$ ) y una mayor ganancia diaria de peso ( $P = 0.04$ ) se observo con el tratamiento a base de osmosis inversa. Estos resultados demuestran que los novillos que consumieron el agua tratada con osmosis inversa tuvieron un mejor desempeño en corral. El DCAD de la dieta tuvo una relación positiva con la ganancia diaria de peso ( $P < 0.01$ ), pero tuvo una relación negativa con el grado de marmoleo ( $P = 0.04$ ). En conclusión, el consumo de agua tratada con osmosis inversa mejoró el consumo de agua, el consumo de materia seca, la ganancia diaria de peso y el peso de las canales, en comparación con el consumo de agua de pozo alta en sulfatos.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Las muestras de agua fueron analizadas en las instalaciones y con el equipo de AQUA Laboratorios, S.A. de C.V., localizada en el municipio de San Nicolás de los Garza, Nuevo León, bajo un convenio de colaboración con la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El estudio constó de tres etapas: (1) Colección de muestras; (2) Análisis de muestras y registro de datos; y (3) Análisis estadísticos e interpretación de los datos.

#### **3.1. Zonas geomorfológicas del estado de Nuevo León**

Doscientas ocho muestras de agua de tres zonas geomorfológicas del estado de Nuevo León fueron obtenidas. De los 51 municipios del estado, se pudieron coleccionar muestras de agua de pozos de agua utilizados para la producción animal de 37 municipios. Las características de estas tres regiones geomorfológicas descritas por Mulleried (1944) se presentan a continuación (Figura 1).

##### **3.1.1. Sierra Madre Oriental (SMO)**

Esta región tiene zonas muy quebradas, de una anchura de por lo menos 60 a 80 kilómetros, tiene aglomeraciones de sierras que se levantan desde una altura de 550 metros sobre nivel del mar hasta los 800 a 1100 metros sobre el nivel del mar, donde la zona de la Sierra Madre Oriental no termina aun. En la zona Norte, las sierras se levantan de 1500 a 1700 metros sobre el nivel del mar, y la porción Sur, llega a tener sierras de 2000 a 2500 metros sobre el nivel del mar. El desagüe

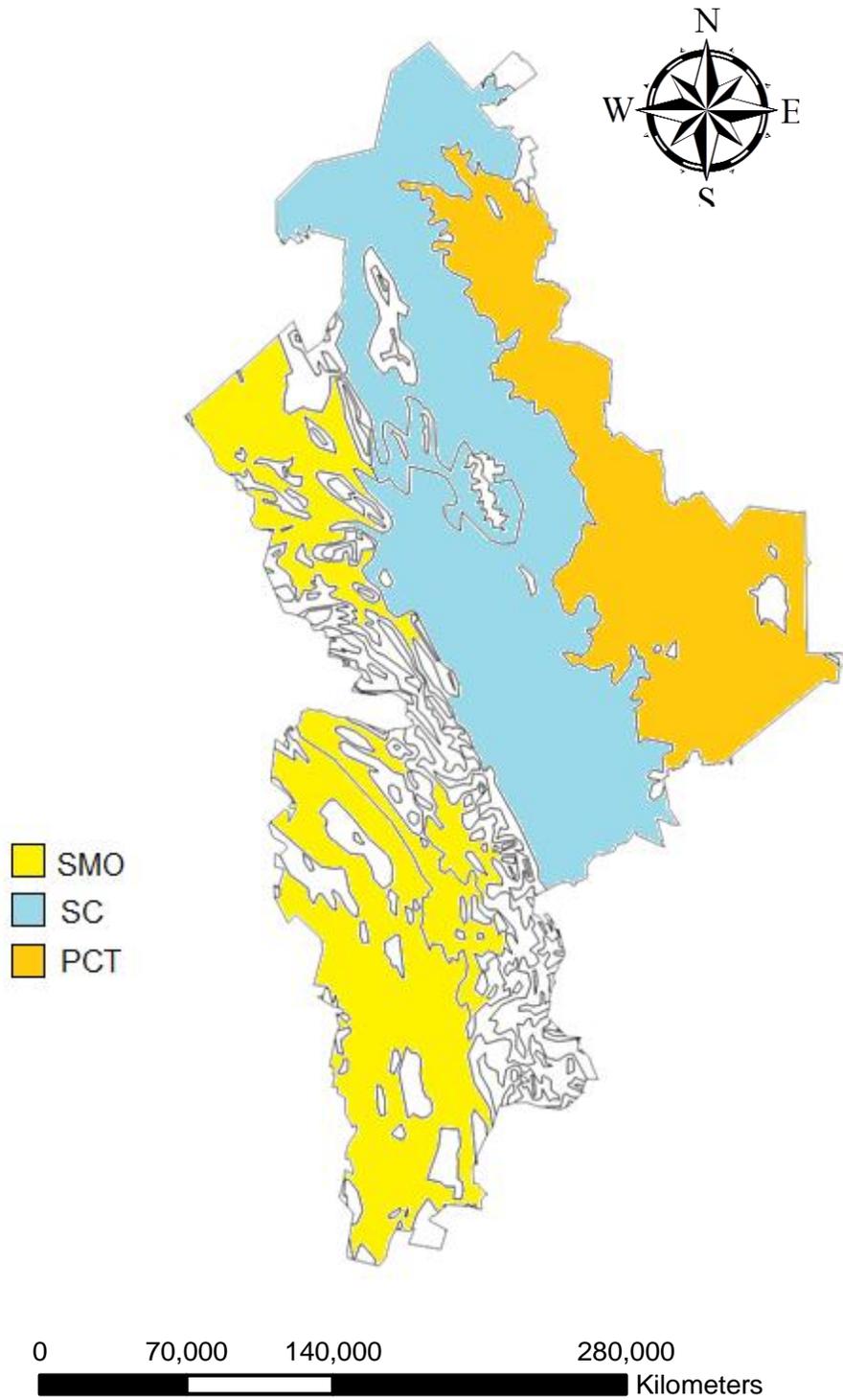


Figura 1. Regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

natural de esta región se realiza por medio de ríos y arroyos que en general van en dirección al Este por la inclinación natural de los terrenos.

### **3.1.2. Serranías y Cerros (SC)**

Esta región se levanta gradualmente hacia el Oeste desde 200 a 250 metros sobre el nivel del mar hasta los 350 a 550 metros sobre el nivel del mar. En terrenos de esta región, se levantan serranías, cerros, mesetas, mesas y lomeríos, cuya altura mayor llega hasta los 1,200 metros sobre el nivel del mar.

### **3.1.3. Planicie de las Capas del Terciario (PCT)**

Revela una planicie que se levanta gradualmente desde una altura de 50 metros sobre el nivel del mar hasta los 250 metros sobre el nivel del mar, en el límite occidental, siendo gran parte una región plana. En otras partes existen lomeríos o cerros bajos. Esta región geomorfológica demuestra una inclinación ligera. Los pocos ríos y arroyos que existen en esta región corren en diferentes direcciones, pero se desvía todo al Este del estado.

### **3.1.4. Municipios que integran las tres regiones geomorfológicas**

En el Cuadro 5 se presentan los municipios que se localizan dentro de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. En la región de la SMO se encuentra los municipios de Abasolo, Allende, Bustamante, Aramberri, Carmen, Ciénega de Flores, Doctor Arroyo, Galeana, García, San Pedro Garza, Iturbide,

Cuadro 5. Diferentes municipios que componen las tres zonas geomorfológicas en el estado de Nuevo León.

Sierra Madre Oriental	Serranías y Cerros	Planicie de las Capas del Terciario
Abasolo	Anáhuac <sup>b</sup>	Los Aldamas
Allende <sup>a</sup>	Apodaca	China
Bustamante	Agualeguas <sup>b</sup>	Dr. Coss
Aramberri	Cadereyta	Gral. Bravo
Carmen <sup>a</sup>	Gral. Escobedo <sup>a</sup>	Gral. Terán <sup>b</sup>
Ciénega de Flores	Dr. González	Gral. Treviño
Dr. Arroyo	Gral. Zuazua	Los Herreras
Galeana	Gral. Zaragoza	Melchor Ocampo
García	Guadalupe	Parás <sup>b</sup>
San Pedro Garza	Higueras	Los Ramones <sup>b</sup>
Iturbide	Hualahuises	Cerralvo <sup>b</sup>
Lampazos Naranja <sup>a</sup>	Benito Juárez	
Mier y Noriega	Linares <sup>a b</sup>	
Montemorelos <sup>a</sup>	Marín	
Monterrey <sup>a</sup>	Los Ramones <sup>b</sup>	
Rayones	Sabinas Hidalgo	
Salinas Victoria <sup>a</sup>	San Nicolás	
Hidalgo	Vallecillo	
Santa Catarina	Villaldama <sup>a</sup>	
Santiago <sup>a</sup>	Pesquería	

<sup>a</sup> Municipios que comparten zona geomorfológica entre Sierra Madre Oriental y, Serranías y cerros.

<sup>b</sup> Municipios que comparten zona geomorfológica entre Serranías y cerros y, Planicie de las Capas del Terciario.

Lampazos, Naranjo, Mier y Noriega, Montemorelos, Monterrey, Rayones, Salinas Victoria, Hidalgo, Santa Catarina y Santiago. En la región de SS están Anáhuac, Apodaca, Agualeguas, Cadereyta, General Escobedo, Doctor González, General Zuazua, General Zaragoza, Guadalupe, Higuera, Hualahuises, Benito Juárez, Linares, Marín, Los Ramones, Sabinas Hidalgo, San Nicolás, Vallecillo, Villaldama y Pesquería. En la región PCT están los municipios de Los Aldamas, China, Doctor Coss, General Bravo, General Terán, General Treviño, Los Herreras, Melchor Ocampo, Parás, Los Ramones y Cerralvo.

### **3.2. Colección y manejo de las muestras**

En la Figura 2, se presenta la distribución de los pozos en los que se obtuvieron muestras de agua para este estudio. Se utilizaron los métodos apropiados de colección de agua superficial y del subsuelo (pozos), evitando la contaminación de las muestras (Wilde, 2006). El agua se dejó correr el agua durante 2 minutos antes de tomar la muestra. Las muestras de agua se depositaron en recipientes de plástico nuevos con capacidad de un litro, conservándose en hieleras con refrigerante para su transporte al laboratorio.

### **3.3. Análisis físico-químico del agua**

Entre los análisis físico-químicos del agua que se obtuvieron se incluye pH, dureza, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. Mientras que los minerales catiónicos analizados incluyeron calcio, magnesio, sodio y potasio, los aniones determinados fueron bicarbonatos, cloro, azufre y nitratos. Los minerales traza hierro,

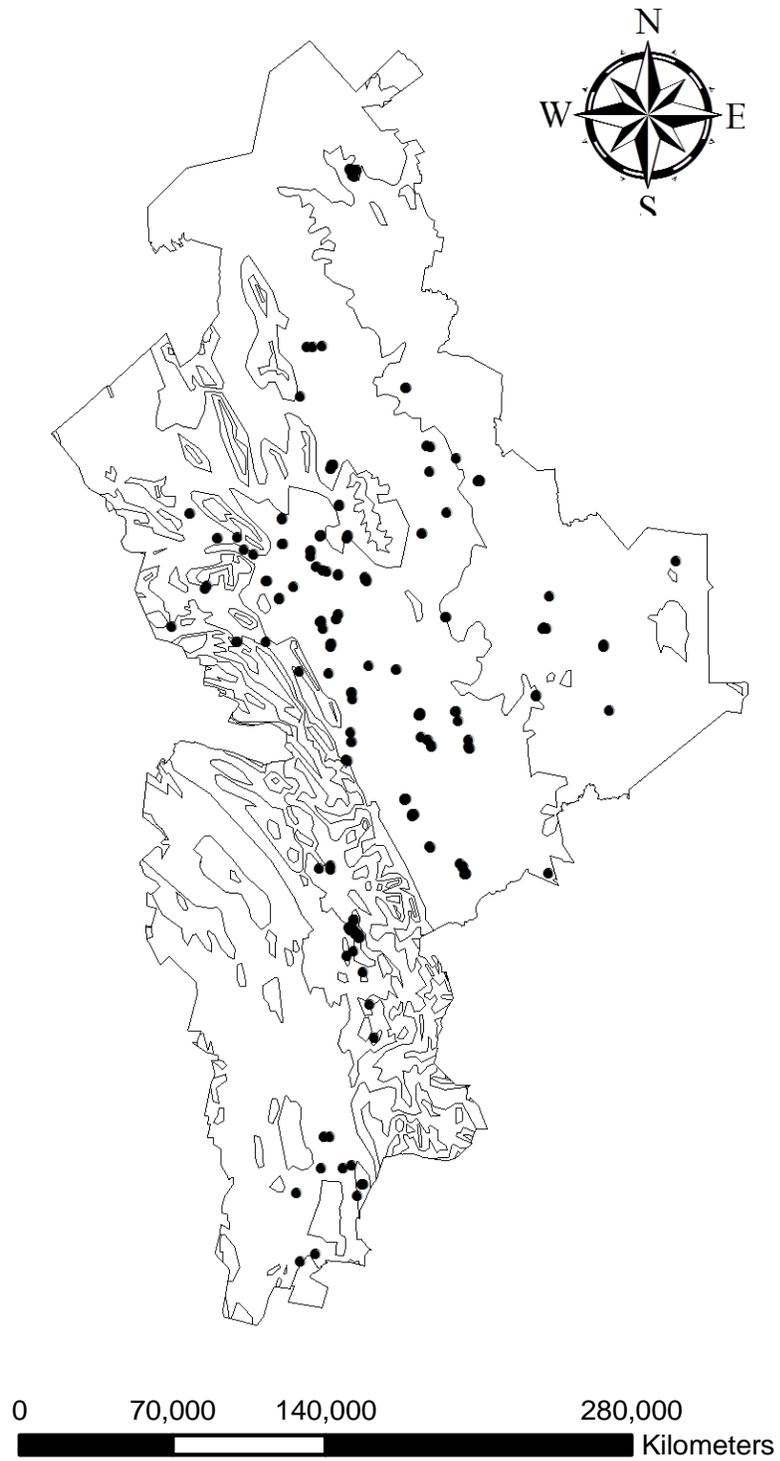


Figura 2. Distribución de las muestras en las regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

manganeso, zinc y cobre, y los minerales tóxicos, plomo, arsénico y molibdeno, también fueron analizados.

### **3.3.1. Determinación de pH**

El método está fundamentado en la existencia de una diferencia de potencial en entre las dos caras de una membrana de vidrio, expuestas a disoluciones acuosas que difieren en su valor de pH. La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio.

Se utilizo el aparato electrónico Beckman serie 390, el cual debe ser calibrado antes de utilizarse con soluciones patrones buffer pH de 4.0, 7.0 y 10.0. Se colocaron las muestras en un vaso de precipitado, se introdujo el electrodo a la muestra, se agito y se tomo el valor del pH cuando la lectura estuvo estable. Posterior, el electrodo se enjuago con agua destilada, se sumergió en una solución saturada de KCl.

### **3.3.2. Dureza**

La dureza del agua es debida principalmente a sales de calcio y de magnesio presentes generalmente como carbonatos o sulfatos y es calculada usualmente como miligramos de carbonato de calcio por litro (ppm), independientemente de que sea dureza total (debida a calcio y magnesio) o parcial (debida a solamente calcio).

La determinación de dureza se realizó mediante cálculos, utilizando la concentración de Ca y Mg, valores en ppm obtenidos del análisis de cada muestra mediante el uso de un Espectrómetro de Emisión Atómica Acoplada Inductivamente

a Plasma (ICP-OES) de marca Perkin Elmer Modelo Optima 2000 DV. El valor es expresado en grados hidrométricos franceses.

### **3.3.3. Conductividad eléctrica y solidos disueltos totales**

La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura.

Este método se basa en la propiedad que adquiere el agua de conducir la corriente eléctrica cuando tiene iones disueltos. Cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una porción se disocia en iones positivos y otra en negativos. Los iones se mueven independientemente y se dirigen a los electrodos de carga opuesta mediante la aplicación de un campo eléctrico.

La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua. El valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles, y también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano.

Para esto se utiliza el Multi-range Conductivity-Meter HANNA HI 8733 el cual se enciende y se pone en modo 1999  $\mu\text{S}$ , la muestra de agua se coloca en un vaso de precipitado, se introduce la célula de conductividad en el vaso que contiene la muestra, se agita para mantener uniforme la concentración de iones y se toma el valor de la conductividad cuando la lectura está estable. En caso de que la

conductividad fue muy elevada, apareció un 1, en el centro de la pantalla, en este caso se cambio el conductímetro a modo 19.99  $\mu\text{S}$  para que la lectura estuviera dentro del rango. Se enjuago la célula de conductividad con agua destilada y se seco con una toalla de papel. En caso de que la lectura se haya tomado en unidades mS, el resultado se multiplica por 1000 para obtener el valor en  $\mu\text{S}$ .

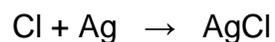
### **3.3.4. Minerales aniónicos y catiónicos**

Las concentraciones de minerales fueron determinados usando un Espectrómetro de Emisión Óptica Acoplado Inductivamente a Plasma (OES-ICP) Perkin Elmer Optima 2000 DV. Este método se basa en la medición de la cantidad de luz emitida por el elemento, por medio de un detector, siendo la luz emitida proporcional a la concentración del elemento y calculada por la comparación con una curva de calibración.

#### **3.3.4.1. Cloruros**

El método de mohr, es una de las técnicas volumétricas más antiguas. Involucra la valoración de cloruros o bromuros con una disolución patrón de nitrato de plata, empleando una sal de cromato soluble, como cromato de potasio, que actúa como indicador.

Las reacciones que ocurren son las siguientes:



El precipitado secundario, cromato de plata, posee un color rojo bien diferenciado. La aparición del cromato de plata, en combinación con el color inicial de la disolución valorada, señala el final de la valoración.

El uso del cromato como indicador del punto final de ésta valoración, es posible en virtud de que el cloruro de plata es menos soluble que el cromato de plata; éste último no puede formarse de manera permanente en la mezcla, hasta que la precipitación del ion cloruro, como cloruro de plata, reduzca la concentración libre del ion cloruro a un valor muy pequeño.

Se toma una alícuota de 25 ml de la muestra, se transfiere a un matraz Erlenmeyer de 125 ml, se agrega 1 ml de cromato de potasio al 1%, se valora con la dilución patrón de nitrato de plata hasta la aparición de un color naranja-rojizo, y se registra la lectura de la bureta para calcularse con la siguiente fórmula:

$$\text{ppm Cl} = \frac{[(A-B) \times N \times 35.450]}{\text{ml muestra}} \times 100$$

Donde:

A = ml de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra

B = ml de solución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco

N = normalidad de nitrato de plata

35.450 = peso mili equivalente de Cl

### 3.3.5. Acidez y alcalinidad

La acidez se refiere a la presencia de sustancias disociables en agua y que como producto de disociación generan el ion hidronio ( $H_3O^+$ ). La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua, y que como producto de hidrólisis, generan el ión hidroxilo ( $OH^-$ ). Este método está basado en la medición de la acidez o alcalinidad en el agua mediante una valoración de la muestra, empleando una disolución valorante de concentración perfectamente conocida (NMX-AA-036-SCFI-2001).

Se toma una alícuota con 25 ml de la muestra, se transfiere a un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se agrega 3 gotas de fenolftaleína, en caso de que se observara una coloración rosa, se titula con  $H_2SO_4$  hasta la desaparición de la coloración. Sino se observa coloración rosa, se reporta como carbonatos igual a cero. Se anota el volumen gastado del ácido, se agregan 3 gotas de naranja de metilo a la muestra, se continúa valorando con el ácido hasta que se observe un vire amarillo a naranja rojizo, se registra el volumen gastado en las dos titulaciones y se realizan los cálculos con la siguiente fórmula:

Cálculos:

$$\text{meq/lit } CO_3 = \frac{V * N * 1000}{\text{ml mta}}$$

$$\text{ppm } CO_3 = (\text{meq/lit } CO_3) (30.004)$$

Donde:

V = Volumen de  $H_2SO_4$  gastado

N = Normalidad del  $H_2SO_4$

1000 = Factor para convertir ml a L

30.004 = Peso equivalente del  $\text{CO}_3$  para convertir a ppm

$\text{meq/lit HCO}_3 = V_t * N * 1000$

ml mta

$\text{ppm HCO}_3 = (\text{meq/lit HCO}_3) (61.016)$

Donde:

$V_t$  = Volumen total de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gastado en las 2 titulaciones

$N$  = Normalidad del  $\text{H}_2\text{SO}_4$

1000 = factor para convertir ml a L

61.016 = Peso equivalente del  $\text{HCO}_3$  para convertir a meq

### **3.3.6. Análisis estadísticos**

Los resultados de los análisis físico-químicos fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con tres tratamientos (regiones geomorfológicas). La comparación de medias se realizó mediante el uso de la prueba Tukey (SAS, 1999).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Calidad fisicoquímica del agua

En general, la calidad del agua del estado de Nuevo León fue mejor en la región geomorfológica de la Sierra Madre Oriental (SMO), seguido por el agua de la zona de Serranías y Cerros (SC), y por mucho, la peor calidad de agua fue para la zona geomorfológica de la Planicie de las Capas del Terciario (PCT).

Para determinar la calidad del agua para animales domésticos, los siguientes análisis deben ser considerados: Concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT), sodio (Na), sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), alcalinidad y dureza. Esta lista de análisis representa a los parámetros que más comúnmente afectan el uso de agua para consumo animal. Sin embargo, hay otros componentes del agua que también pueden afectar su calidad y el desempeño animal.

Los cationes (iones con carga positiva) incluyen al calcio, magnesio y sodio, que en combinación con los aniones (iones con carga negativa) como los cloruros, sulfatos, nitratos y bicarbonatos, componen las sales inorgánicas, comúnmente se encuentran en el agua consumida por el ganado. El efecto de varias sales es acumulativo, por lo que su medición es importante. Además, debido a que estas sales tienen efectos fisiológicos diferentes, determinar el tipo de sales que se encuentran en el agua, es importante. Con los sulfatos, por ejemplo, hay más posibilidades de que se presenten problemas de salud que con los cloruros o los carbonatos (German et al., 2008).

## 4.2. Conductividad eléctrica

En el Cuadro 6, se presentan las medias y sus errores estándar para conductividad eléctrica (CE) del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La conductividad eléctrica de las muestras de agua varió ( $P < 0.001$ ) de 1,895  $\mu\text{S}$  para la zona de la Sierra Madre Oriental, a 13,528  $\mu\text{S}$  para la Planicie de las Capas de Terciario. La CE del agua de la PCT fue hasta 7 veces mayor que la conductividad mas baja del agua de la SMO.

La conductividad eléctrica del agua nos permite medir la salinidad del agua. La CE es una medida de la capacidad de un material de dejar pasar la corriente eléctrica, dejando circular las cargas eléctricas. La conductividad en medios líquidos (disolución) está relacionada con la presencia de sales en solución, cuya disociación genera iones positivos (cationes) y negativos (aniones) capaces de transportar la energía eléctrica si se somete el líquido a un campo eléctrico. La toxicidad con agua salina perturba el balance electrolítico de los animales que resulta en síntomas similares a una deshidratación. Con una CE mayor de 10,000  $\mu\text{mhos/cm}$ , el agua no será apetecible, y diarrea y pérdida de peso se pueden observar en el ganado. Aunque el ganado puede adaptarse al consumo de agua con una conductividad mayor a 10,000  $\mu\text{mhos/cm}$ , un cambio repentino en el suministro de una agua de buena calidad a una agua altamente salina, puede causar la muerte del ganado (German et al., 2008).

En una clasificación reportada por German et al. (2008), un CE menor a 1000  $\mu\text{mhos/cm}$  significa que el agua es baja en salinidad, y es excelente para

Cuadro 6. Valores medios para conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), pH y dureza del agua de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Variable	Zonas geomorfológicas			P
	SMO <sup>1</sup>	SC <sup>2</sup>	PCT <sup>3</sup>	
CE (µS)	1895 (771) <sup>b</sup>	3678 (482) <sup>b</sup>	13528 (1244) <sup>a</sup>	0.000
SDT (ppm)	1516 (601) <sup>b</sup>	2768 (376) <sup>b</sup>	9037 (969) <sup>a</sup>	0.000
pH del agua	6.9 (0.06) <sup>c</sup>	7.2 (0.04) <sup>b</sup>	7.8 (0.10) <sup>a</sup>	0.000
Dureza	81 (11)	73 (7)	69 (17)	0.747

<sup>1</sup>SMO, Sierra Madre Oriental

<sup>2</sup>SC, Serranías y Cerros

<sup>3</sup>PCT, Planicie de las Capas del Terciario

a, b, c Medias en la misma hilera con diferente superíndice, son estadísticamente diferentes a ( $P < 0.05$ ).

cualquier clase de ganado y aves. De 1000 a 2999  $\mu\text{mhos/cm}$ , el agua puede usarse en cualquier sistema de producción, aunque inicialmente puede causar una diarrea leve, afectando especialmente a las aves. De 3000 a 4999  $\mu\text{mhos/cm}$ , el agua es satisfactoria para el Ganado, aunque puede causar diarrea temporal o rechazo en aquellos animales no adaptados a su consume. Especialmente en los niveles superiores de este rango, el agua es pobre para su consumo por las aves, causando heces acuosas, aumentando la mortalidad y reduciendo el crecimiento, especialmente en pavos. Un agua con un EC de 5000 a 6999  $\mu\text{mhos/cm}$ , puede usarse con seguridad razonable por el ganado lechero y de carne, ovejas, cerdos y caballos, aunque no se debe ofrecer a animales preñados y en lactancia, o a las aves. Un agua con un CE de 7,000 a 10,000  $\mu\text{mhos/cm}$  es inapropiada para aves y cerdos. No se debe ofrecer a animales preñados o en lactancia, y solamente es apta para subsistencia de animales adultos. Un agua con un CE mayor a 10,000  $\mu\text{mhos/cm}$  no es recomendable en ninguna situación en los sistemas de producción. En nuestro estudio, el alto promedio de CE del agua de la región de PCT fue de 13,528  $\mu\text{S}$ , lo que hace que esta región no sea apta para la producción animal sustentable.

### **4.3. Sólidos disueltos totales**

En la Figura 3, se muestra el mapeo de las concentraciones de sólidos disueltos totales en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de SDT se clasifican en < 1000, de 1000 a 2999, de 3000 a 4999,

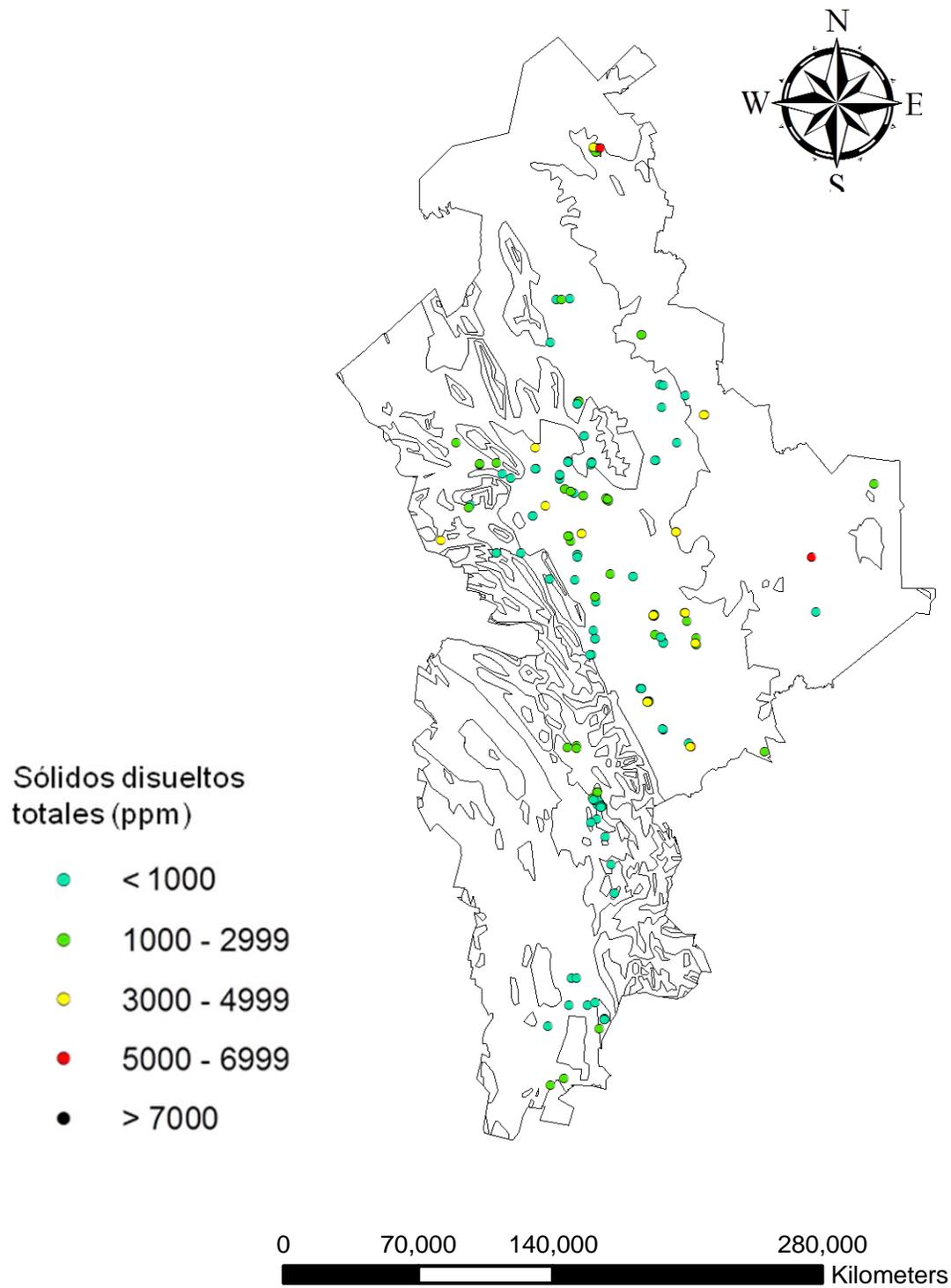


Figura 3. Mapeo de las concentraciones de sólidos disueltos totales en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

de 5000 a 6999 y  $\geq 7000$  ppm. En el Cuadro 6, se presentan las medias y sus errores estándar para sólidos disueltos totales en agua (SDT) de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. Se obtuvo una diferencia ( $P < 0.001$ ) entre las concentraciones de SDT, siendo menor (1516 ppm) para la región SMO, intermedia (2768 ppm) para la región SC y menor (9037 ppm) para la región PCT.

Los sólidos disueltos en agua pueden calcularse a partir de la CE. En el Cuadro 3, se presenta una clasificación de la calidad del agua en base a las concentraciones de sólidos disueltos totales. El agua de la región SMO fue la mejor para consumo animal. En la región geomorfológica de SC, el agua de muchos pozos puede usarse para la producción animal, sin embargo, es importante analizar el agua del rancho en el que se quiera implementar un sistema de producción para determinar la factibilidad de inversión, considerando que algunos pozos tienen agua de menor calidad a aquella requerida para la producción avícola.

Con respecto a la región PCT, las concentraciones de SDT en agua de los pozos son tan altas que no es recomendable su uso para cualquier sistema de producción. Para que esta agua pueda ser consumida por los animales domésticos, los SDT se tendrían que reducir mediante el uso de Osmosis Inversa, teniendo que hacer un estudio de factible para determinar si es redituable este proceso (Sexson et al. (2010).

En la Figura 4, se presenta el porcentaje de muestras con diferentes concentraciones de sólidos disueltos totales de agua de pozo de las tres regiones

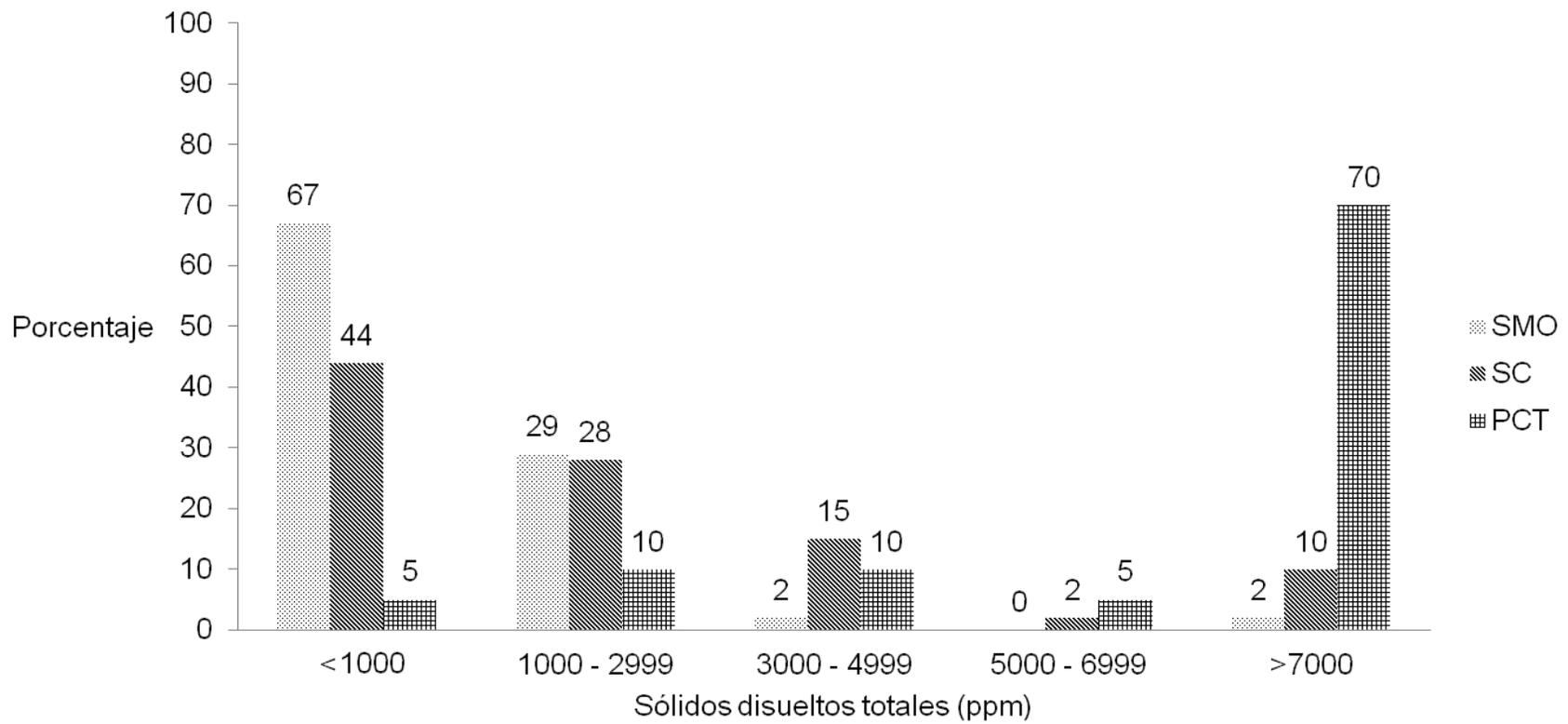


Figura 4. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de STD en agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

geomorfológicas del estado de Nuevo León. Sesenta y siete de las muestras de la región SMO tuvieron <1000 ppm de SDT, mientras que en la región PCT se obtuvo el 70% de las muestras de agua con >7,000 ppm de SDT.

#### **4.4. pH del agua**

En la Figura 5, se muestra el mapeo de las concentraciones de pH en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de pH se clasifican en < 7.0, de 7.0 a 7.49, de 7.5 a 8.0, y  $\geq 8.0$ .

En el Cuadro 6, se presentan las medias y sus errores estándar para pH del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. El menor pH promedio del agua fue para la región SMO con 6.9, seguido por la región SC con un pH de 7.2, y el más alto pH fue para la región PCT con 7.8.

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad. El agua puede ser ácida (pH < 7.0), neutra (pH = 7.0) o alcalina (pH > 7.0). La mayoría de las aguas de pozo del estado de Nuevo León son alcalinas. Poco se conoce sobre el efecto específico del pH sobre el consumo de agua, ambiente microbiano en el rumen o la salud animal. Un rango de pH de 6.0 a 8.0 es preferido para ganado lechero. Aguas con un pH fuera de este rango pueden causar problemas digestivos, diarrea, bajo consumo de agua y alimento, y una mala conversión alimenticia. Aguas con un pH menor a 6.5 y mayor a 8.5 pueden afectar drásticamente producción animal. La muerte del ganado puede ocurrir con agua de mala calidad aun cuando esté disponible (Looper, 2007).

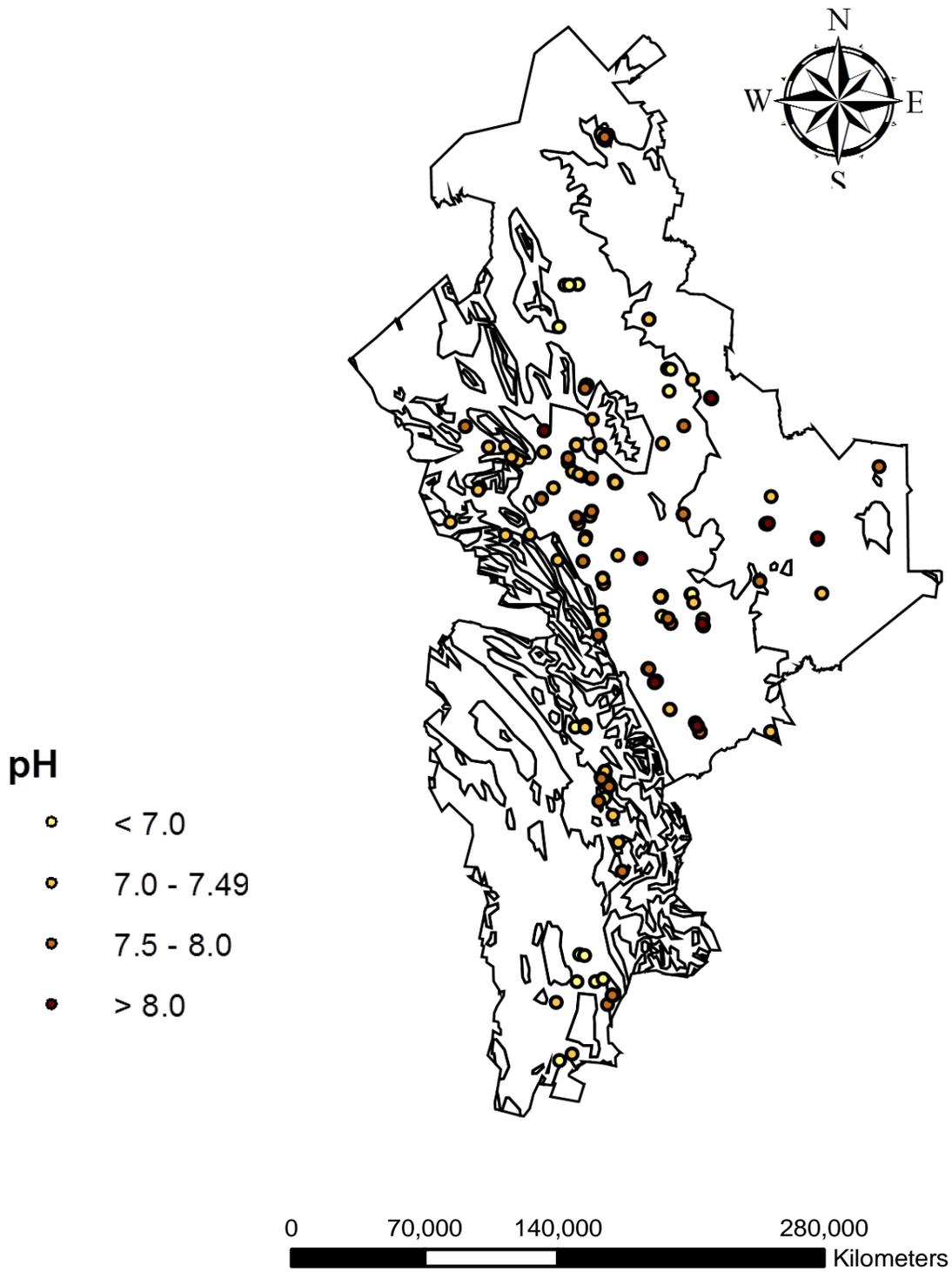


Figura 5. Mapeo de las concentraciones de pH en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

En la Figura 6, se puede observar que solamente en las regiones SMO y SC se analizaron aguas de pozo con un pH menor a 7. La mayor proporción del agua analizada tuvo un pH entre 7.0 y 7.49 (25 a 54% del total de muestras). De 19 a 25% de las muestras analizadas tuvo un pH entre 7.5 y 7.99. El 50% de las muestras de la región PCT tuvo un pH mayor a 8.

La alcalinidad del agua es una medida combinada de los bicarbonatos, carbonatos e iones hidróxido. Los boratos, silicatos y fosfatos también están incluidos, pero en menor grado. La alcalinidad actúa como un buffer y puede ser definida como la habilidad del agua para neutralizar la acidez, y nos da información del tipo de sales que están presentes. La alcalinidad poco frecuentemente limita el uso del agua en la producción animal. La alcalinidad se expresa como pH o alcalinidad titulable en forma de bicarbonatos y carbonatos. Las aguas con un pH que varía de 7.0 a 8.0 son ligeramente alcalinas, lo que significa que contienen solamente bicarbonatos (no contienen carbonatos). Conforme aumenta el pH, el agua es más alcalina. Con pH mayor a 10, las aguas son altamente alcalinas, y consecuentemente, contienen carbonatos. La mayoría de las aguas del estado de Nuevo León tienen una alcalinidad menor de 500 ppm, lo que no es dañino para los animales domésticos. Un exceso de alcalinidad puede causar malestar fisiológico y digestivos en el ganado y aves, aunque el nivel exacto en el que puede afectar la producción no ha sido establecida (Olson and Fox 1981).

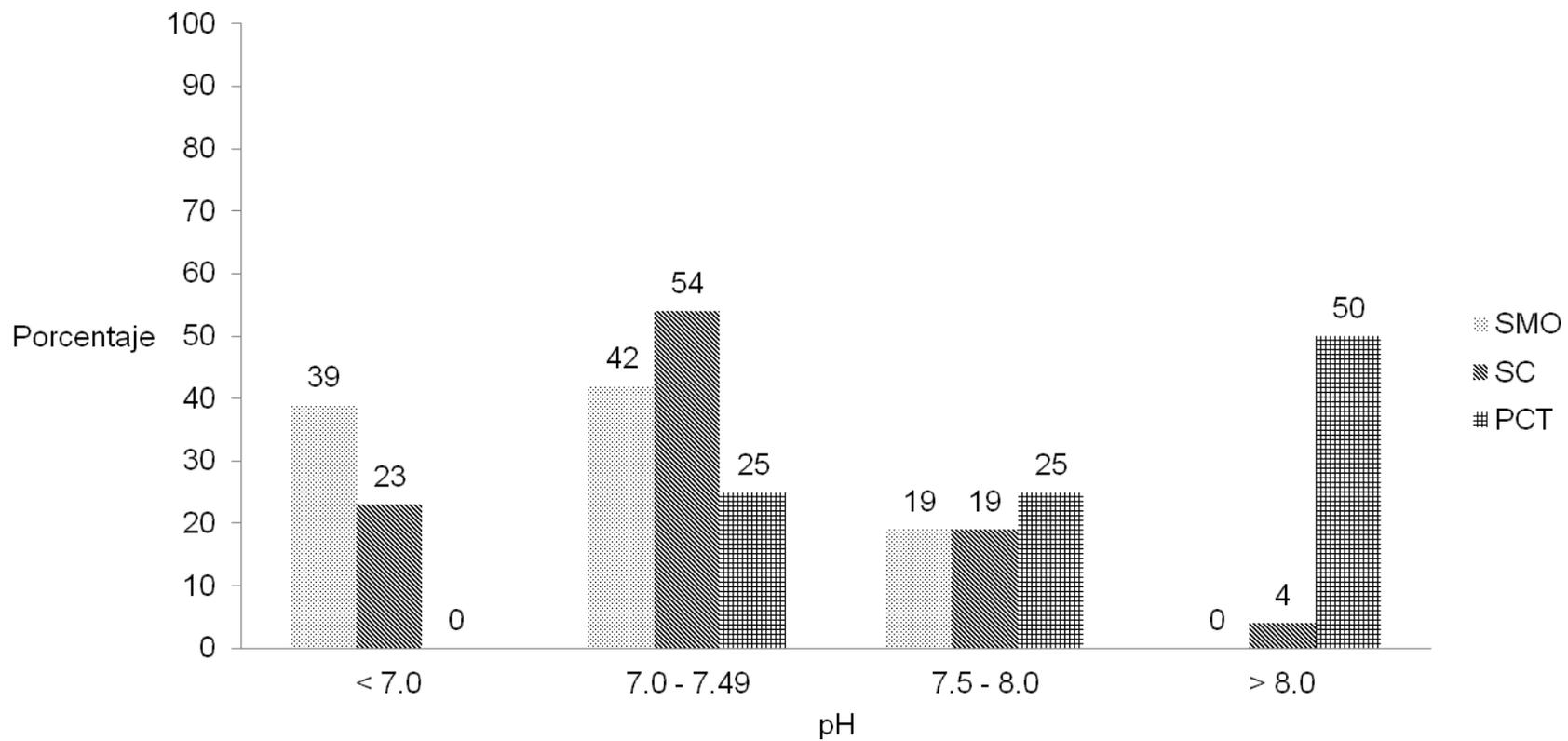


Figura 6. Porcentaje de muestras con diferentes concentraciones de pH del agua de pozos en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

#### 4.5. Dureza

En la Figura 7, se muestra el mapeo de las concentraciones de dureza en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. La dureza del agua se debe principalmente al contacto del suelo con las formaciones rocosas. En general, el agua dura se origina en áreas donde la capa del suelo es gruesa y están presentes formaciones de piedra caliza. El agua suave se origina en áreas donde la capa del suelo es delgada y la formación de caliza es poca o nula (Sawyer, 1967).

En el Cuadro 6, se presentan las medias y sus errores estándar para dureza del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La menor dureza promedio del agua fue para la región SMO con 81 mg/L (calcio y magnesio). Las aguas de pozo de las regiones SC y PCT fueron de 73 y 69 mg/L, respectivamente.

Las concentraciones de dureza se clasifican en suave (< 60 mg/L), moderadamente dura (61 a 120 mg/L), dura (121 a 180 mg/L), y muy dura (> 181 mg/L) (Higgins, 2008). Consecuentemente, las aguas de las tres regiones se pueden clasificar como moderadamente duras. La dureza es causada por los cationes divalentes ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) metálicos que reaccionan con el jabón para formar precipitados y con varios aniones para formar sarro. Los principales cationes que causar la dureza son el calcio, magnesio, estroncio, ion férrico, e ion manganoso. Durante el proceso de suavización, estos cationes son remplazados con sodio, aumentando la concentración de sodio en el agua, por lo que el agua suavizada hace

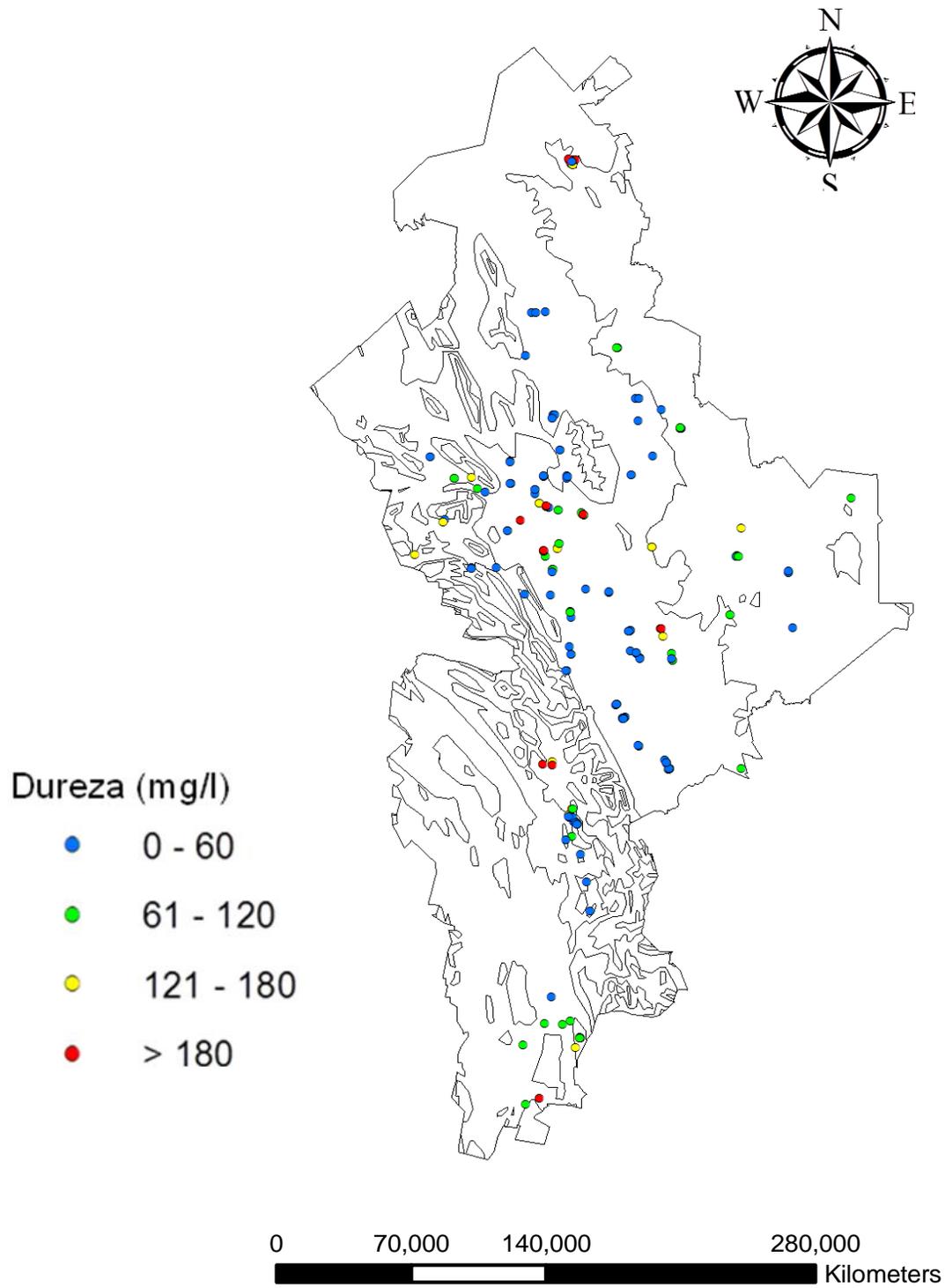


Figura 7. Mapeo de las concentraciones de dureza en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

espuma fácilmente. La dureza del agua no está necesariamente correlacionada a la salinidad. Las aguas salinas pueden ser muy suaves si contienen bajos niveles de calcio y magnesio, los principales cationes que causan la dureza. Estos cationes están generalmente presentes en menos de 1000 mg/L en agua.

Determinar ambas, la dureza y la alcalinidad del agua, ayuda en la interpretación de que tan adecuada es el agua para consumo animal, ya que se puede determinar los tipos de sales que se encuentran en el agua, algunas siendo mas perjudiciales que otras. Cuando la alcalinidad es igual a la dureza, las sales como el calcio o el magnesio se encuentran en combinación con carbonatos y bicarbonatos. Cuando la alcalinidad es menor a la dureza, las sales de calcio y magnesio es más posible que estén en forma de sulfatos, en vez de carbonatos. Debido a la interacción entre sulfatos y alcalinidad, el efecto laxativo de un agua alta en sulfatos será mayor conforme aumenta la alcalinidad (German et al., 2008).

#### **4.6. Cationes totales**

En el Cuadro 7, se presentan las medias y sus errores estándar para las concentraciones de cationes individuales y la suma de cationes totales del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La mayor concentración de cationes totales (1,829 ppm) se obtuvo para la región PCT. Se obtuvo una diferencia significativa ( $P < 0.001$ ) con respecto a las concentraciones de cationes totales de otras regiones. No se observó una diferencia entre las

concentraciones de cationes totales entre las regiones SMO (366 ppm) y SC (684 ppm).

#### **4.6.1. Calcio (Ca)**

En la Figura 8, se muestra el mapeo de las concentraciones de calcio en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de calcio se clasifican en  $< 500$  y  $\geq 500$  ppm.

En el Cuadro 7, se presenta la media y error estándar de la concentración de calcio del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. Las concentraciones de Ca fueron de 246, 198 y 154 ppm para las regiones SMO, SC y PCT, no habiendo una diferencia ( $P > 0.05$ ) entre regiones. Aunque la región SMO tuvo la menor concentración de cationes totales, fue la que mas Ca tuvo.

En la Figura 9, se presenta el porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de calcio, en las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. En las regiones SMO, SC y PCT, 84, 92 y 100% de las muestras tuvieron una concentración de calcio  $< 500$  ppm.

#### **4.6.2. Magnesio (Mg)**

En la Figura 10, se muestra el mapeo de las concentraciones de magnesio en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de magnesio se clasifican en  $< 125$  y  $\geq 125$  ppm.

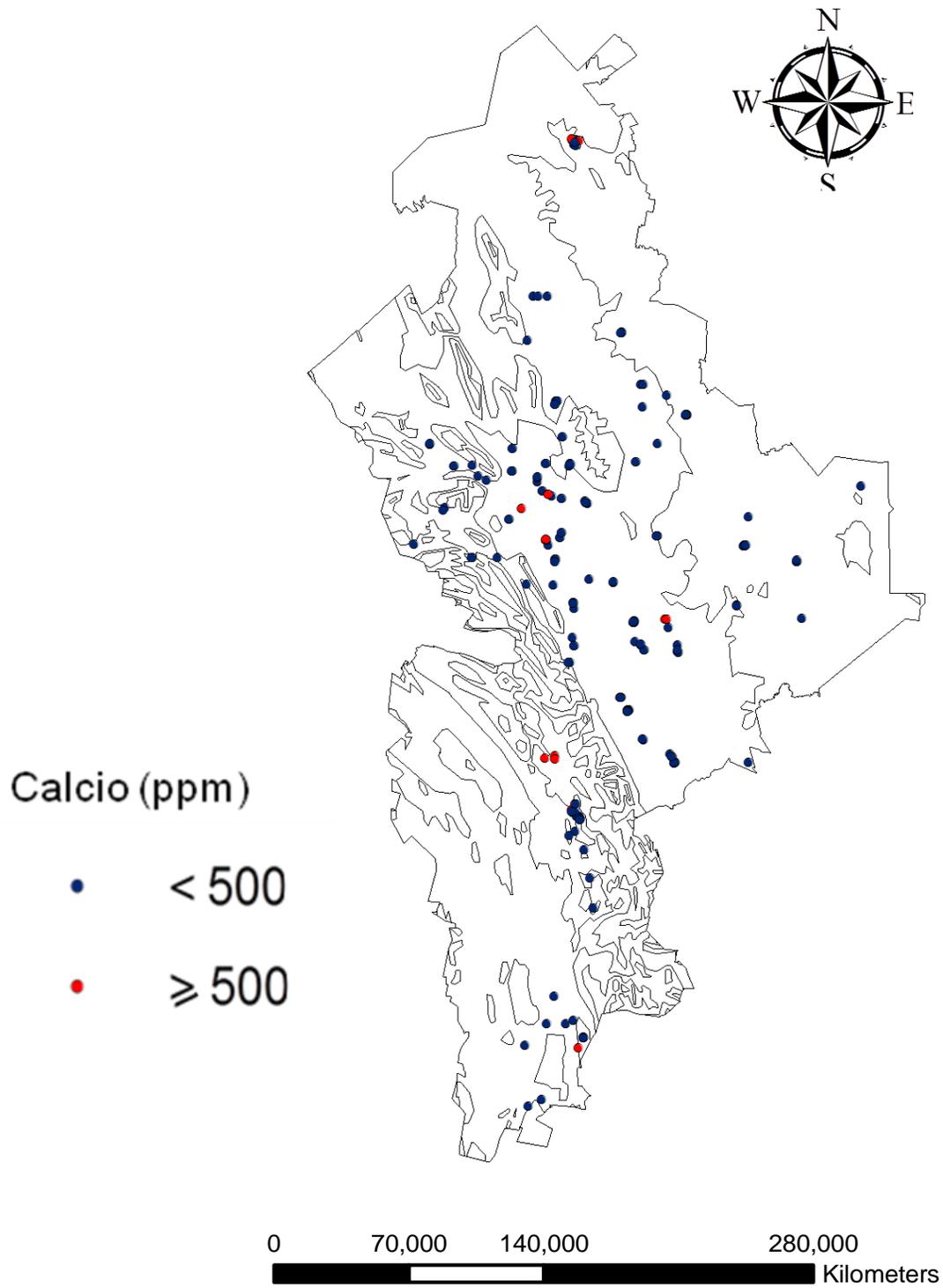


Figura 8. Mapeo de las concentraciones de calcio en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Cuadro 7. Valores medios para minerales catiónicos como calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) de agua de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Variable	Zonas geomorfológicas			P
	SMO <sup>2</sup>	SC <sup>3</sup>	PCT <sup>4</sup>	
Cationes totales (ppm)	366 (137) <sup>b</sup>	684 (85) <sup>b</sup>	1829 (220) <sup>a</sup>	0.000
Ca (ppm)	246 (27)	198(17)	154 (44)	0.158
Mg (ppm)	49 (13)	58 (8)	73 (22)	0.632
K (ppm)	8 (4) <sup>b</sup>	20 (3) <sup>b</sup>	60 (8) <sup>a</sup>	0.000
Na (ppm)	71 (124) <sup>b</sup>	412 (77) <sup>b</sup>	1555 198) <sup>a</sup>	0.000

<sup>1</sup>SMO, Sierra Madre Oriental

<sup>2</sup>SC, Serranías y Cerros

<sup>3</sup>PCT, Planicie de las Capas del Terciario

<sup>a, b, c</sup> Medias en la misma hilera con diferente superíndice, son estadísticamente diferentes a (P < 0.05).

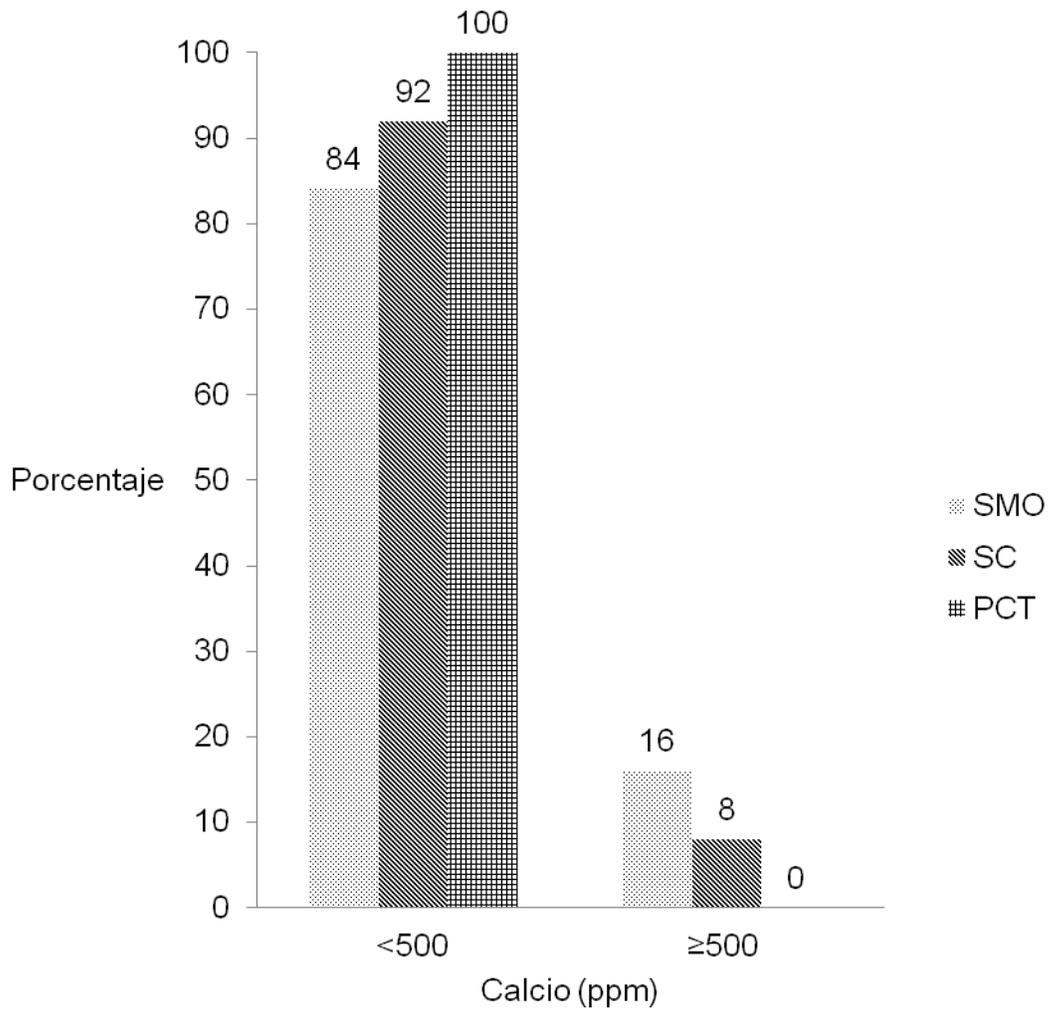


Figura 9. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de calcio, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

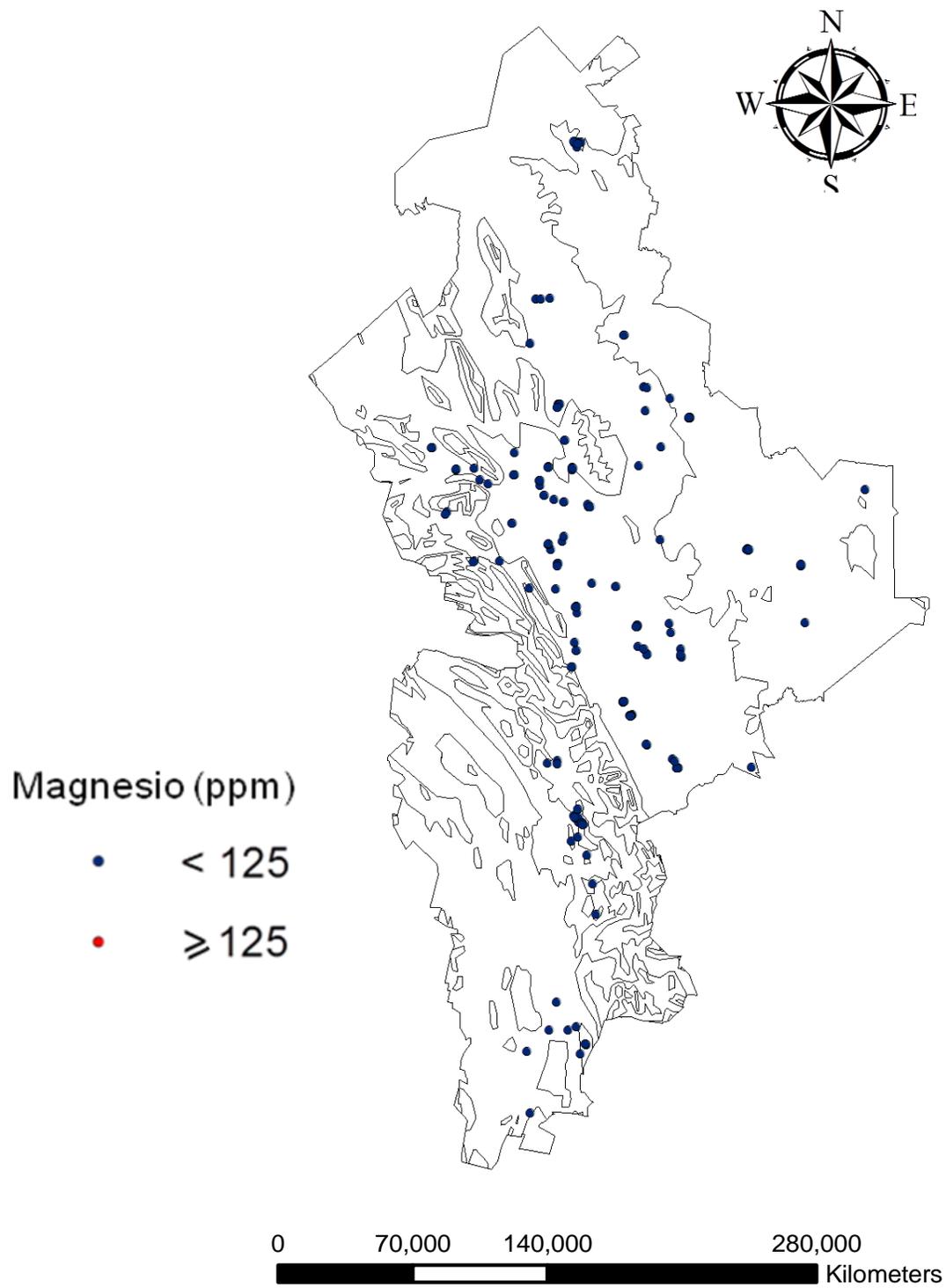


Figura 10. Mapeo de las concentraciones de magnesio en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

.En la Cuadro 7, se presenta la media y error estándar de la concentración de magnesio del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. No se obtuvo una diferencia ( $P > 0.05$ ) entre regiones en la concentración de Mg. Las concentraciones de Mg fueron de 49, 58 y 73 ppm para las regiones SMO, SC y PCT. En cuanto a un exceso de Mg<sup>+</sup> en el agua, no hay suficientes estudios que comprueben que altos niveles de este macromineral puede afectar negativamente la producción o salud de los animales (Beede, 2005). Sin embargo, se pueden presentar diarreas si el animal consume agua con altos niveles de Mg<sup>+</sup>, especialmente en combinación con otras sales (Lagger et al., 2000).

En la Figura 11, se presenta el porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de magnesio, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. Del 75 al 94% de las muestras de agua de las 3 regiones tuvieron una concentración de Mg menor a 125 ppm.

#### **4.6.3. Sodio (Na)**

En la Figura 12, se muestra el mapeo de las concentraciones de sodio en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de sodio se clasifican en  $< 20$  y  $\geq 20$  ppm.

En el Cuadro 7, se presenta la media y error estándar de la concentración de sodio del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La

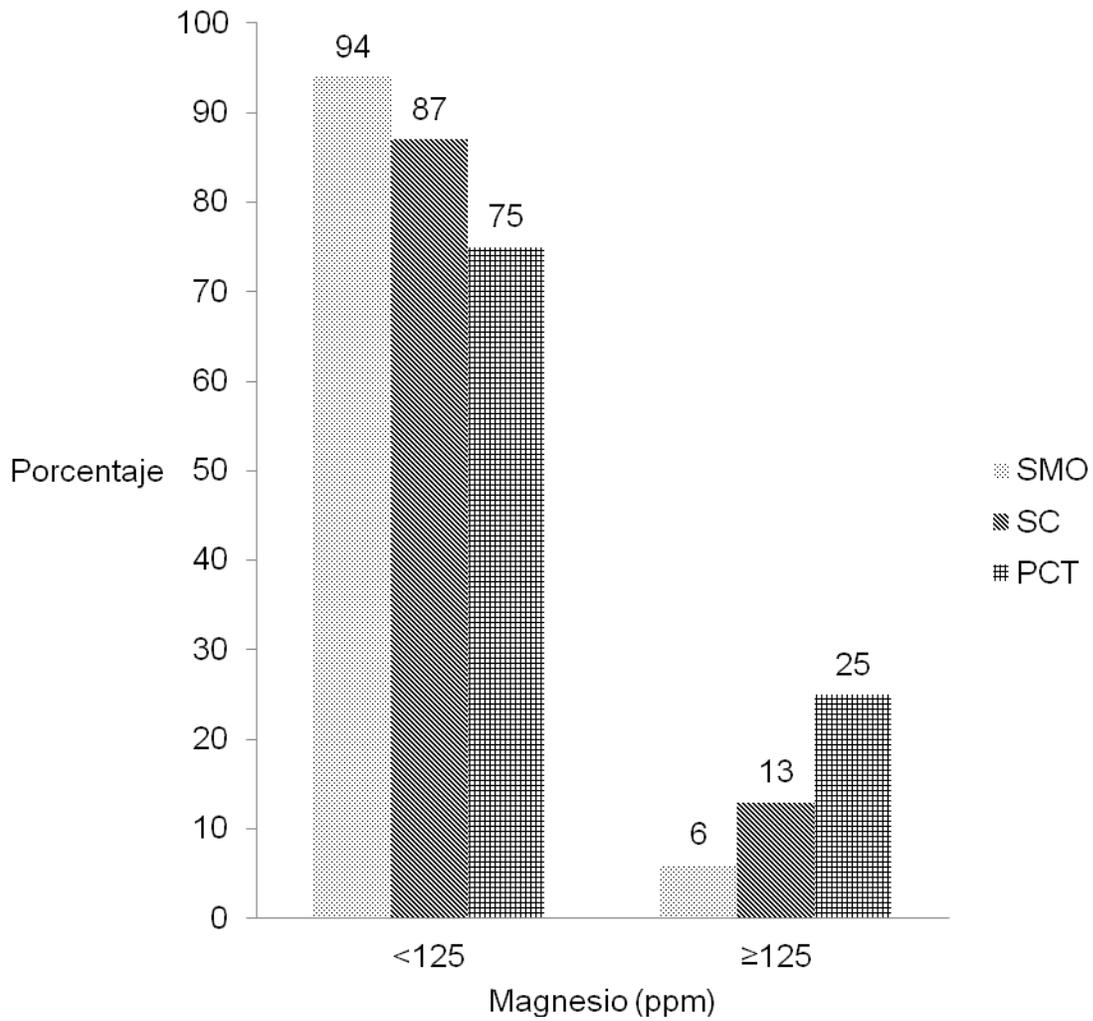


Figura 11. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de magnesio, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

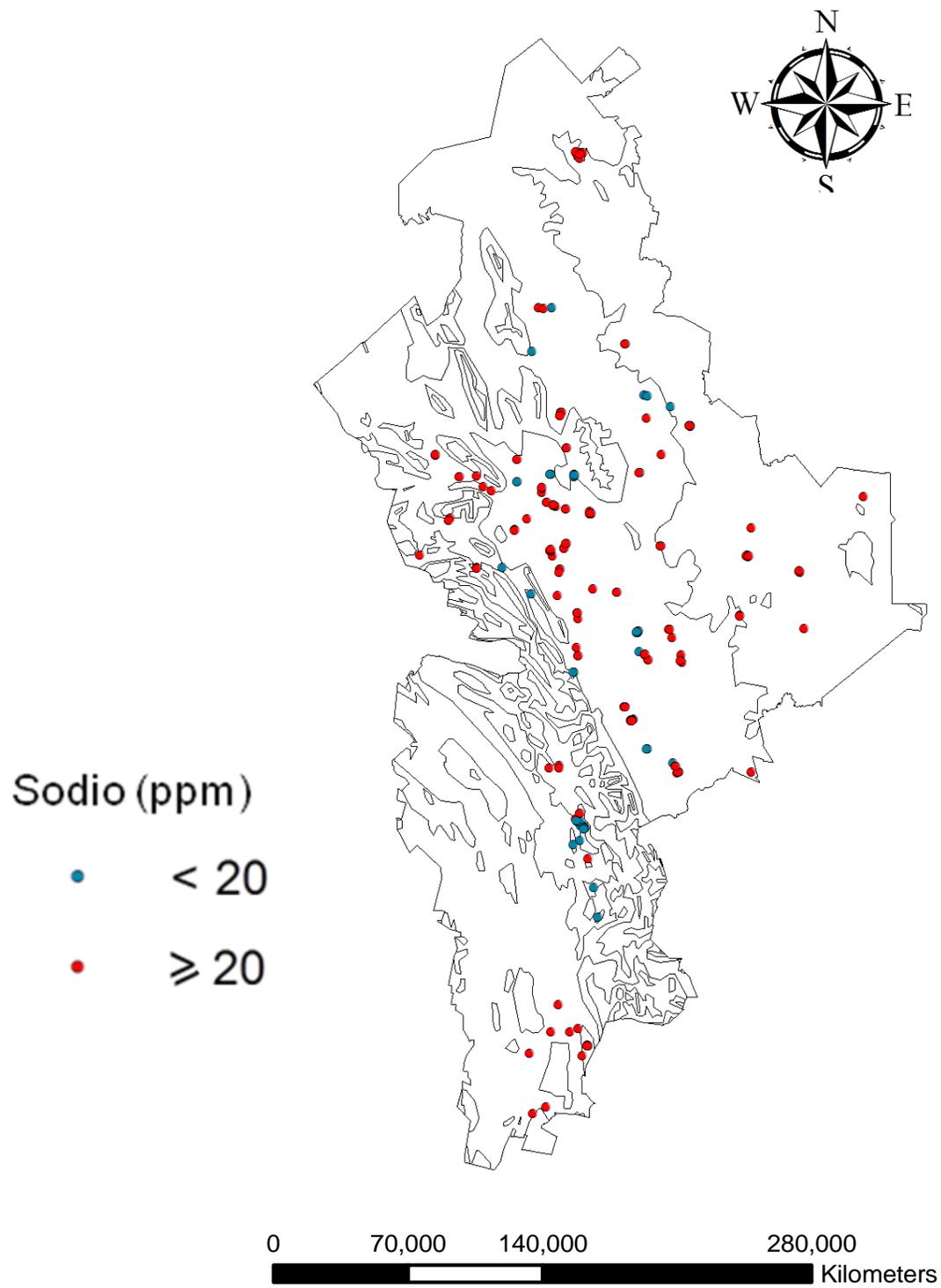


Figura 12. Mapeo de las concentraciones de sodio en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

concentración de Na fue significativamente mayor ( $P < 0.001$ ) para la región PCT (1555 ppm) que para las regiones SMO (71 ppm) y SC (412 ppm), no habiendo una diferencia ( $P > 0.05$ ) entre las dos últimas regiones.

El mantener al Ganado consumiendo agua con altos niveles de sodio puede causar toxicidad, aumentando las concentraciones de sodio en plasma, fluido cerebroespinal y tejido cerebral (Gould 1998). Un consumo excesivo de sodio tiene un efecto diurético. Agua con menos de 50 ppm de sodio tiene poco riesgo para las aves. La recomendación para el uso de agua con más de 500 mg/L es extremadamente variable. Una alta concentración de sodio puede afectar el desempeño de las aves si las concentraciones de sulfatos o cloruros son altos (Carter 1996).

Cuando el ganado consume agua salina, los siguientes síntomas deben monitorearse para síntomas de envenenamiento que incluyen sed excesiva, dolor abdominal, aumento en la excreción urinaria, descarga nasal, falta de apetito, vomito, diarrea, signos nerviosos, postración, convulsiones y muerte. Una alta concentración de sodio causa más riesgo para el ganado si va acompañada de una alta concentración de azufre. Agua con una concentración de sodio mayor a 800 mg sodio/L puede causar diarrea y reducir la producción de leche de vacas lecheras. La sal en las dietas de cerdos debe reducirse y la concentración de sodio excede los 400 mg/L (Patience 1989; Smart 1989). Con un alto nivel de sodio en el agua, hay necesidad de hacer ajustes en la inclusión de sal en las dietas.

En la Figura 13, se presenta el porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de sodio, en tres regiones morfogeológicas del estado de Nuevo León. Del total de muestras de agua, 94, 75 y 25% de las regiones SMO, SC y PCT tuvieron una concentración de Na menor de 300 ppm. Tres cuartas partes del agua de la región PCT tuvo un alto nivel de sodio en agua de los pozos.

#### **4.6.4. Potasio (K)**

En el Cuadro 7, se presenta la media y error estándar de la concentración de potasio del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La concentración de K fue mayor ( $P < 0.001$ ) para la región PCT que para las regiones SMO y SC, no habiendo diferencia entre las dos últimas regiones. Las concentraciones de K fueron de 8, 20 y 60 ppm para las regiones SMO, SC y PCT. Estos niveles son muy bajos para causar algún problema que afecte la producción animal. Solos, el magnesio y el potasio tienen poco riesgo para el ganado, aunque su asociación con sulfatos puede ser perjudicial (German, 2008).

#### **4.7. Aniones totales**

En el Cuadro 8, se presenta la media y error estándar de la concentración de aniones individuales y la suma de aniones totales del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. El promedio de la suma de aniones (ppm) fue mayor ( $P < 0.042$ ) para la región geomorfológica PCT (11,378 ppm) que

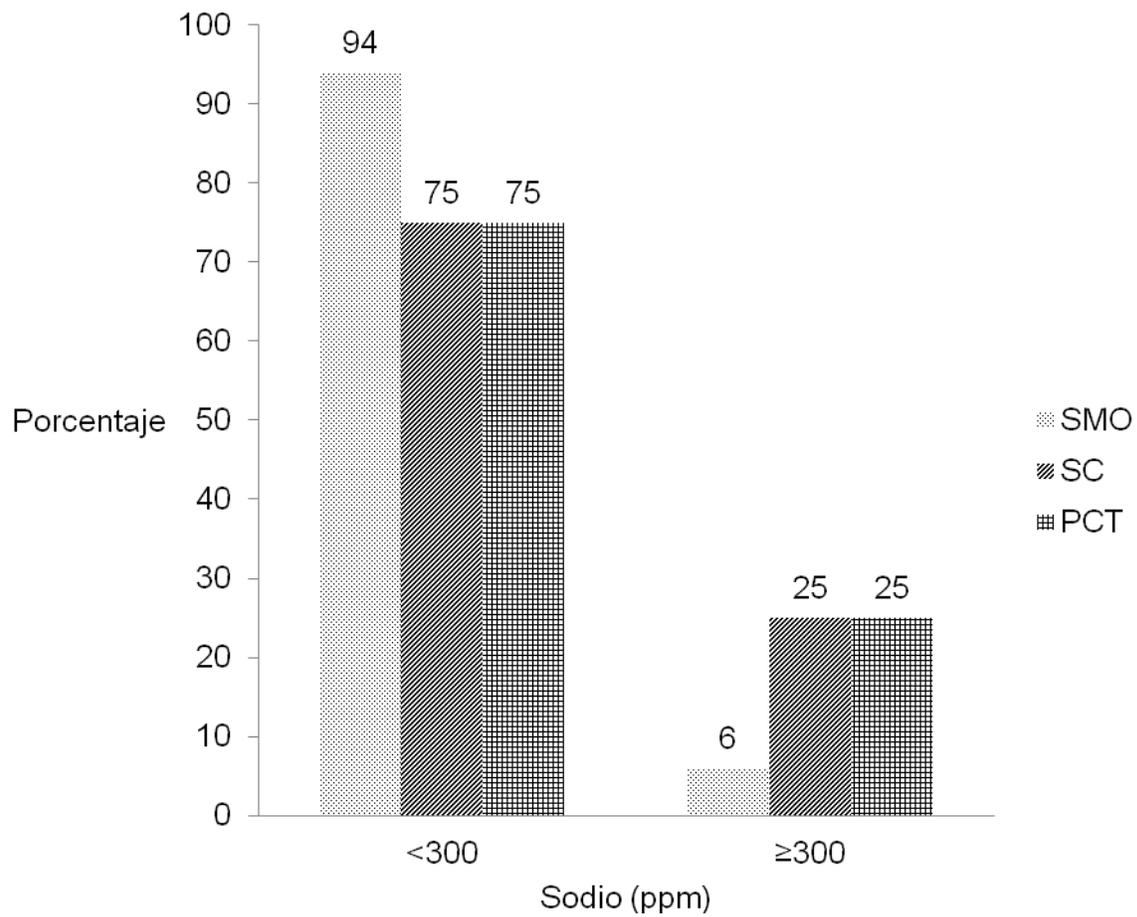


Figura 13. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de sodio, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Cuadro 8. Valores medios para minerales aniónicos como azufre (S), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), y cloro (Cl) de agua de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Variable	Zonas geomorfológicas			P
	SMO <sup>2</sup>	SC <sup>3</sup>	PCT <sup>4</sup>	
Suma Aniones (ppm)	3320 (1888) <sup>a</sup>	2936 (1214) <sup>a</sup>	11378 (3131) <sup>b</sup>	0.042
S (ppm)	135 (44)	211 (28)	308 (76)	0.113
SO <sub>4</sub> (ppm)	404 (130)	627 (84)	912 (228)	0.122
HCO <sub>3</sub> (ppm)	310 (33) <sup>a</sup>	369 (20) <sup>ab</sup>	457 (53) <sup>b</sup>	0.058
Cl (ppm)	68 (260) <sup>a</sup>	998 (162) <sup>b</sup>	2684 (451) <sup>c</sup>	0.000

<sup>1</sup>SMO, Sierra Madre Oriental

<sup>2</sup>SC, Serranías y Cerros

<sup>3</sup>PCT, Planicie de las Capas del Terciario

<sup>a, b, c</sup> Medias en la misma hilera con diferente superíndice, son estadísticamente diferentes a ( $P < 0.05$ ).

para las regiones SMO (3,320 ppm) y SC (2,936 ppm).

#### **4.7.1. Cloro**

En la Figura 14, se muestra el mapeo de las concentraciones de cloro en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de cloro se clasifican en  $< 500$  y  $\geq 500$  ppm.

En el Cuadro 8, se presenta la media y error estándar de la concentración de Cl del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. Las concentraciones de Cl variaron ( $P < 0.001$ ) entre regiones, teniendo una mayor concentración el agua de la región PCT (2,684 ppm), seguido por las aguas de las regiones SC (998 ppm) y SMO (68 ppm). El cloro tiene varias funciones en el organismo animal, incluyendo la regulación de la presión osmótica, el balance del pH (junto con el sodio y el potasio), y en la digestión (HCL secretado en el estomago).

En el agua, el cloro está relacionado con el sodio, formando sal (cloruro de sodio). Un exceso de cloro es sinónimo de exceso de sal (cloruro de sodio), la cual es tóxica en altos niveles en el agua. En rumiantes, un nivel excesivo de cloro aumenta la presión osmótica en el rumen. Esto causa una disminución en la población microbiana y su actividad metabólica en el rumen, reduciendo el consumo de alimento. En todos los animales domésticos, un exceso de cloruro de sodio puede resultar en deshidratación, falla renal, disfunción del sistema nervioso y muerte. Los niveles máximos tolerables de cloro en agua difieren, siendo de 1600 mg/L para

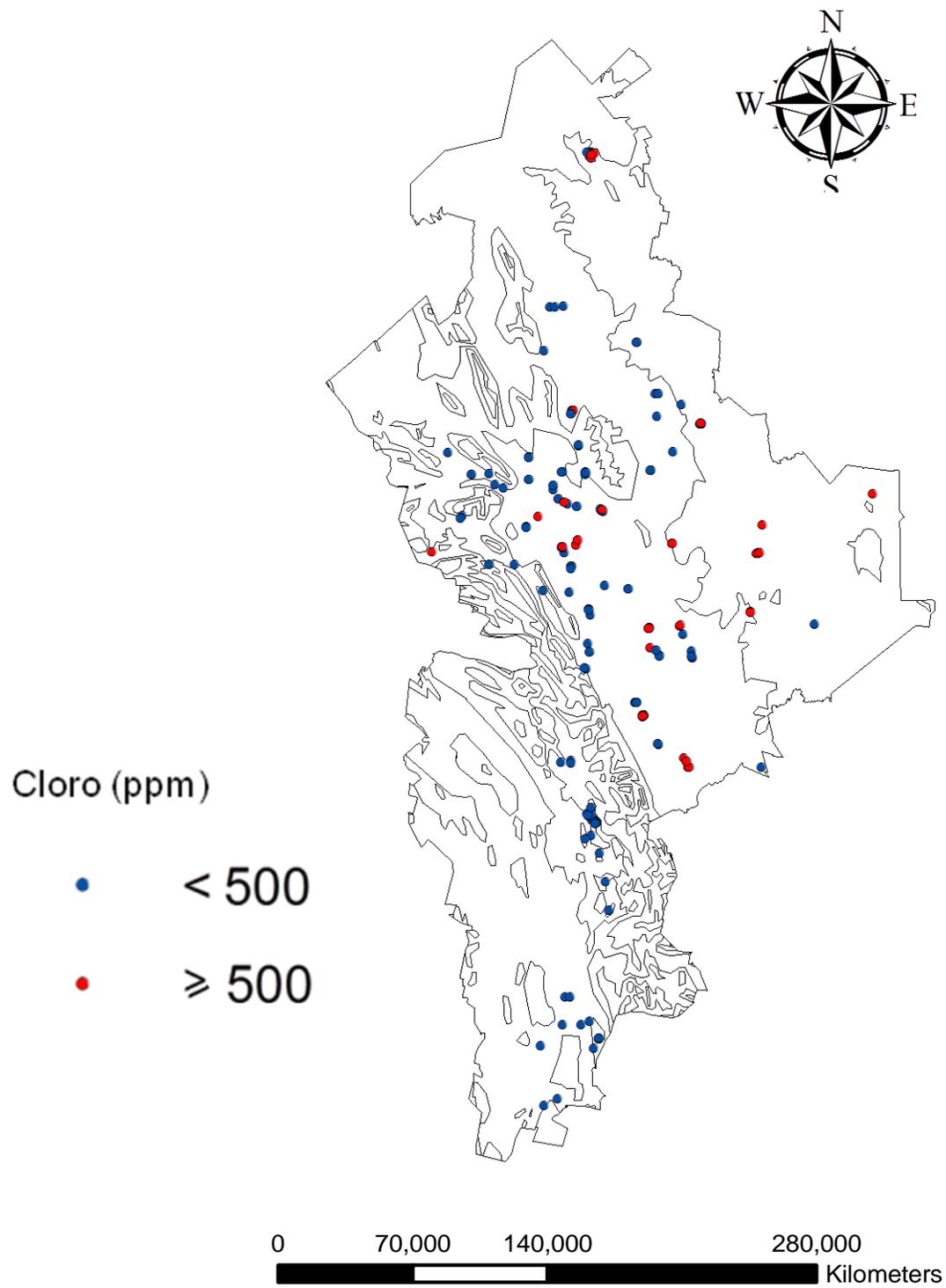


Figura 14. Mapeo de las concentraciones de cloro en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

ganado lechero, 4000 mg/L para ganado de carne, 2400 mg/L para corderos y ovejas, 5600 mg/L para ovinos adultos, y 1200 mg/L para caballos (Curan, 2007).

En la Figura 15, se presenta el porcentaje de muestras de agua de pozo con menos de 500 ppm o  $\geq 500$  ppm de cloro de las 3 regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La región SMO tuvo 65% de muestras con  $<500$  ppm de cloro y solamente 35% tuvieron  $\geq 500$  ppm de cloro. En contraste, la región PCT tuvo el 100% de las muestras con  $\geq 500$  ppm de cloro.

#### **4.7.2. Azufre (S)**

En la Figura 16, se muestra el mapeo de las concentraciones de azufre en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de azufre se clasifican en  $< 167$  y  $\geq 167$  ppm.

En el Cuadro 8, se presenta la concentración media y el error estándar para azufre de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La concentración promedio de S fue de 135, 211 y 308 ppm para las regiones SMO, SC y PCT. No se observó una diferencia ( $P < 0.113$ ) entre las concentraciones promedio de estas tres regiones. La presencia de azufre en agua es común en el estado de Nuevo León. Del total de muestras, 35% de las muestras de SMO, 31% de SC y 59% de PCT tuvieron  $> 167$  ppm de azufre (Figura 17).

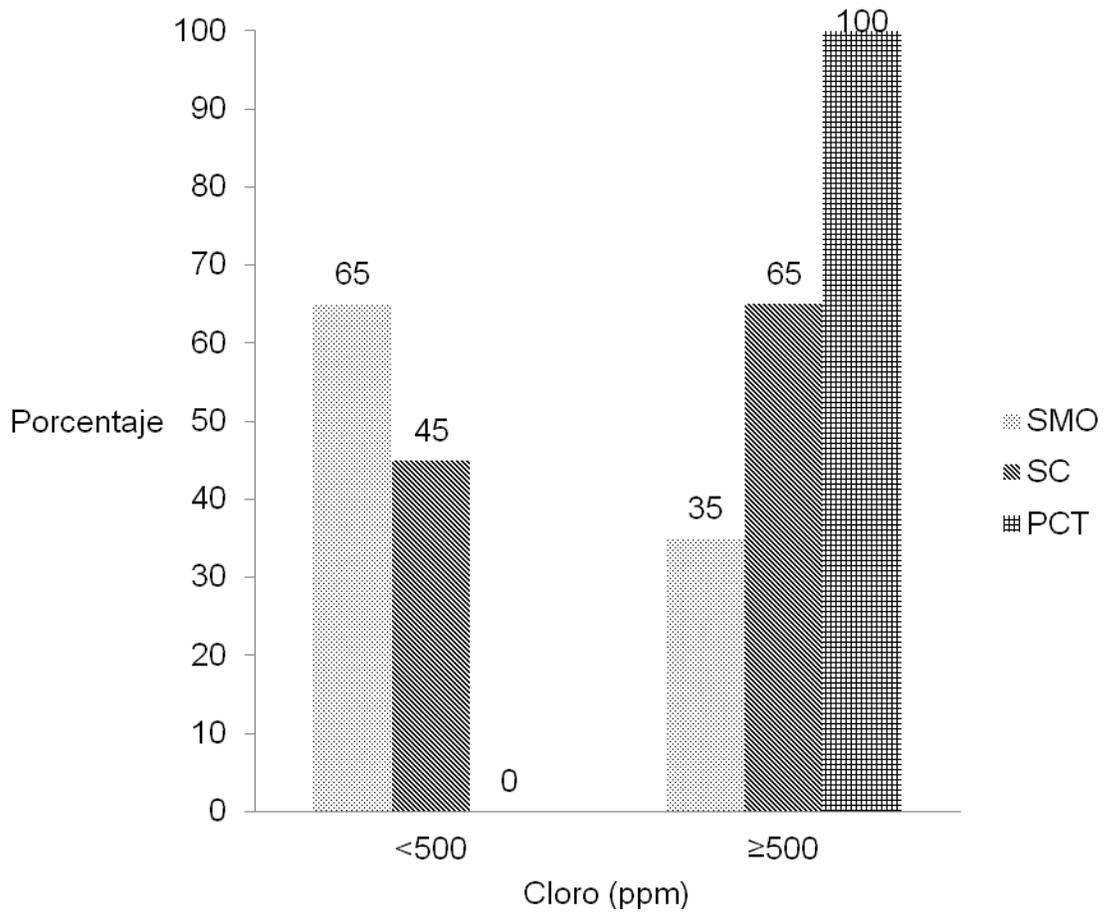


Figura 15. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de cloro, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

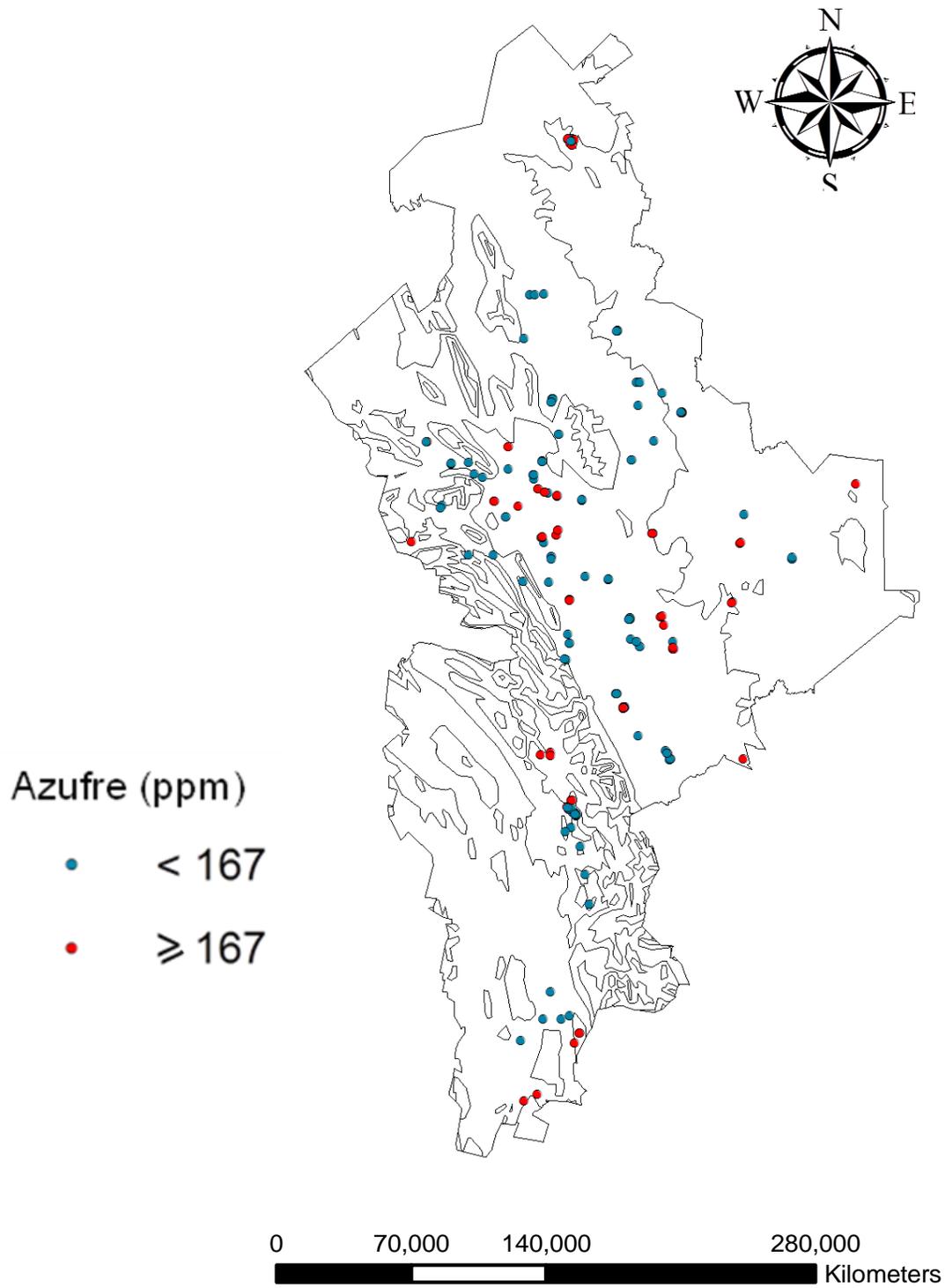


Figura 16. Mapeo de las concentraciones de azufre en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

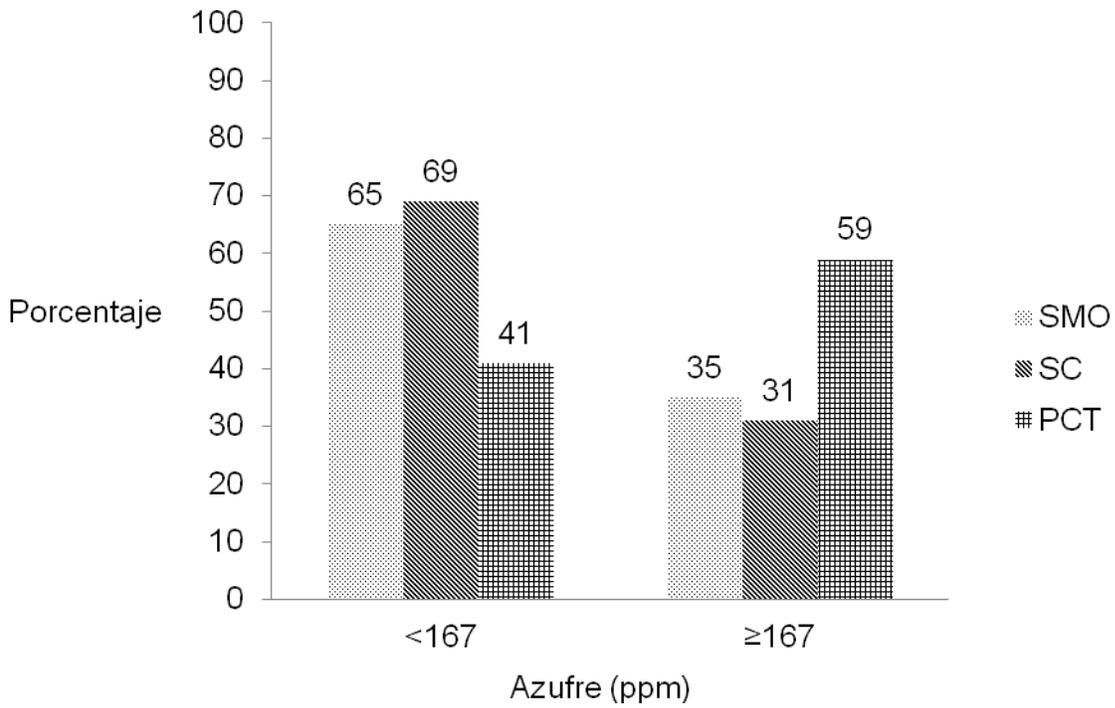


Figura 17. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de azufre, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

En la Figura 18, se muestra el mapeo de las concentraciones, y en la Figura 19, el porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de sulfatos en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de sulfatos se clasifican en  $< 500$  y  $\geq 500$  ppm.

Rasby (2011) menciona que el ganado puede adaptarse al consumo de sulfatos en el agua. Se debe considerar la dilución de agua alta en sulfatos con una fuente baja en sulfatos, especialmente para ganado que llega a la engorda durante la recepción. El nivel superior para becerros es menor a 500 ppm de sulfatos (167 ppm de azufre). Para el ganado adulto, el límite superior de 1000 ppm de sulfatos (333 ppm de azufre). Se debe tener precaución cuando se evalúan los niveles de sulfatos debido a interacciones que tienen el azufre con el cobre y el molibdeno. Consecuentemente, se puede presentar una deficiencia de cobre.

Altos niveles de sulfatos puede contribuir a un aumento en la incidencia de polioencefalomalacia (PEM), un padecimiento nerviosos del ganado que viene acompañado de ceguera. Factores predisponentes como azufre en el agua y en los alimentos (melaza y granos secos de destilería), juntos pueden causar PEM. El azufre puede estar presente en muchas aguas como sulfato de sodio (la de mayor presencia), sulfato de magnesio y sulfato de calcio, teniendo un efecto laxativo y sabor amargo, lo anterior causando el rechazo del consumo de agua por el animal. Desde mediados de la década pasada, las investigaciones han demostrado el impacto del consume de agua con altas concentraciones de sulfatos en la salud y

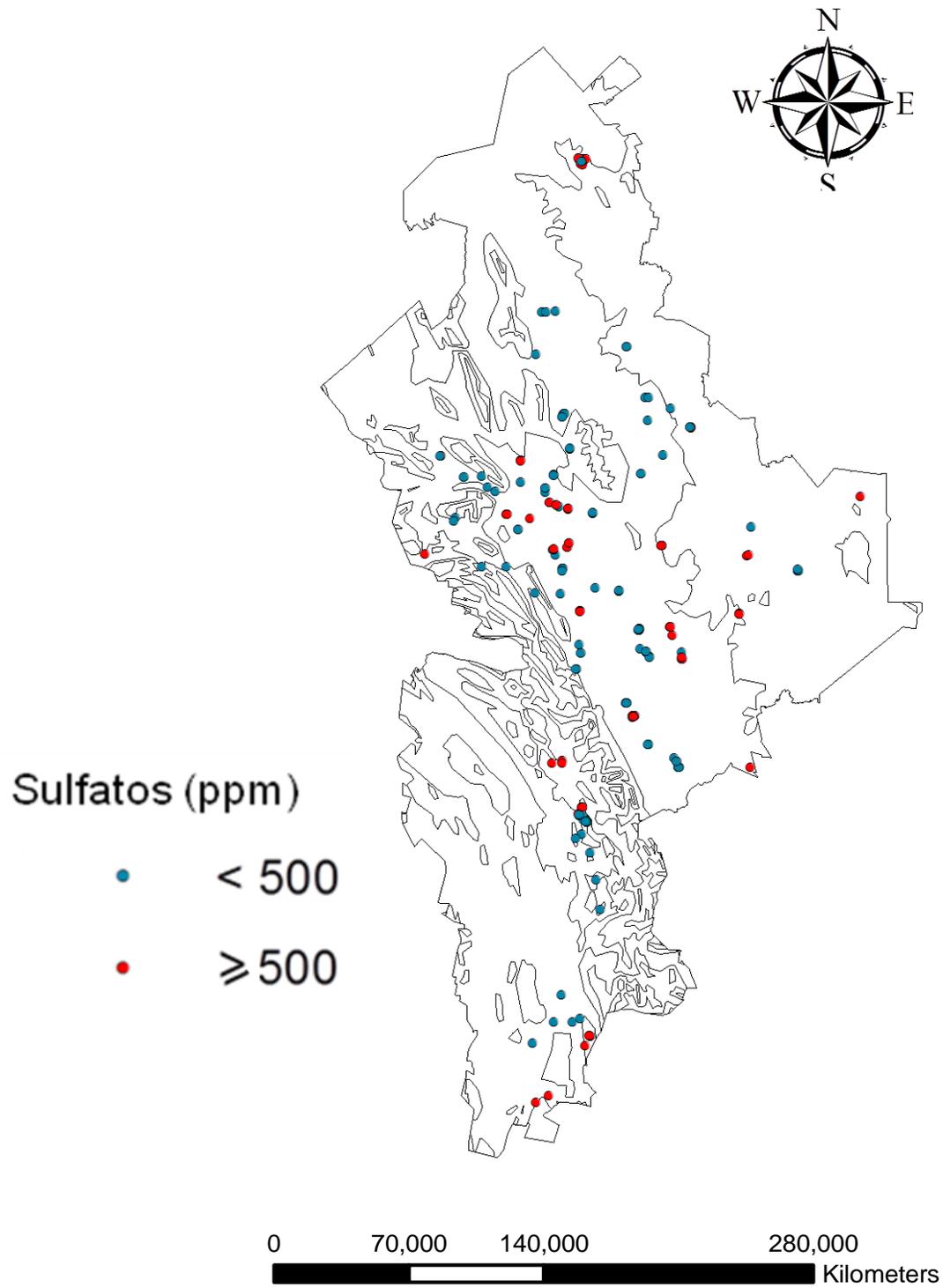


Figura 18. Mapeo de las concentraciones de azufre en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

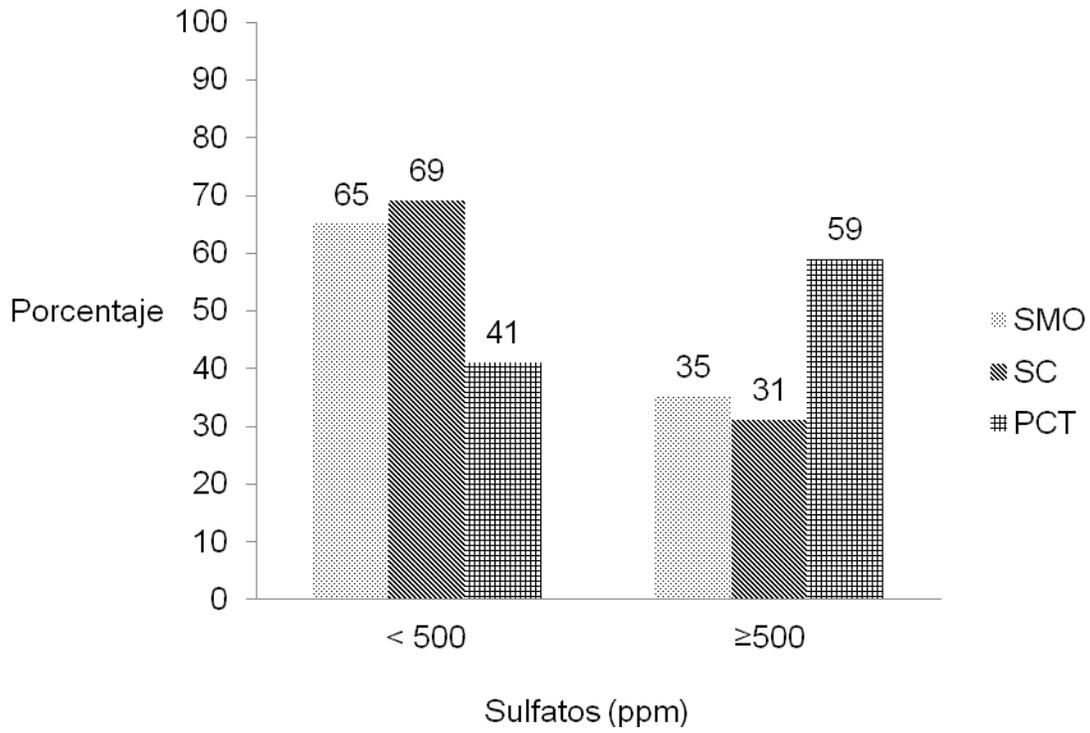


Figura 19. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de sulfatos, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

desempeño animal (NRC 2005; Kandyliis 1984; Veenhuizen y Shurson 1992). Ganado de engorda que consumió agua con >3000 ppm de sulfatos durante el verano tuvieron más riesgo de presentar PEM (Patterson et al. 2002; 2003), especialmente si un alto consumo de azufre se combina con un alto consumo de grano en la dieta (NRC 2005). Agua que contiene >3,000 ppm de sulfatos puede reducir la ganancia diaria de peso y el peso final (Tjardes et al. 2004). El efecto negativo del consumo de agua con altos niveles de azufre parece no ser tan pronunciado con ganado en pastoreo (Johnson et al., 2004; Patterson et al. 2005). Altas concentraciones de sulfatos en el agua pueden reducir las reservas de cobre en hígado del ganado, causando una deficiencia de cobre (Wright et al. 2000; Wright y Patterson 2005). Consecuentemente, el consumo de azufre que aportan el agua y la dieta del animal deben considerarse (NRC, 2005).

#### **4.7.3. Bicarbonato**

En el Cuadro 8, se presenta la media y el error estándar de las concentraciones de bicarbonatos en agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La concentración promedio de  $\text{HCO}_3$  fue similar ( $P < 0.058$ ) para las tres regiones. Las concentraciones de  $\text{HCO}_3$  fueron 310, 369 y 457 ppm para las regiones SMO, SC y PCT, respectivamente. Aunque no hubo una diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) entre las aguas de las tres regiones, hubo una tendencia a que las aguas con mas bicarbonatos tuvieran un pH mayor (Cuadro 5).

Los bicarbonatos son sales derivadas del ácido carbónico,  $H_2CO_3$ , que contienen el anión  $HCO_3^-$ . Una vez formado, el ácido carbónico se disocia parcialmente para dar bicarbonato y Protones ( $H^+$ ). La fuente mayoritaria de bicarbonato en un agua natural proviene del lavado de rocas calizas que hace que parte del carbonato que contienen pase al agua, aumentando de forma natural el pH de estas aguas, ya que hidroliza parcialmente al agua dando  $OH^-$ , lo que lo convierte en una base moderadamente fuerte. Las aguas naturales expuestas a la caliza se denominan aguas calcáreas, ya que su contenido de carbonatos/bicarbonatos es alto. Consecuentemente, la serie de reacciones que ocurren para dar bicarbonato implican equilibrios que tienen lugar entre las fases aire, agua y rocas.

#### **4.8. Minerales traza**

En las Figura 20, 21 y 22 se muestra el mapeo de las concentraciones de hierro, manganeso y cobre en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de hierro se clasifican en  $< 0.30$  y  $\geq 0.30$  ppm. Las concentraciones de manganeso se clasifican en  $< 0.05$  y  $\geq 0.05$  ppm. Las concentraciones de cobre se clasifican en  $< 1.00$  y  $\geq 1.00$  ppm.

En el Cuadro 9, se presenta la media y el error estándar de la concentración de hierro, manganeso y cobre en agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La concentraciones promedio de hierro y manganeso no fueron diferentes ( $P > 0.05$ ) entre regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. Las concentraciones de hierro (Figura 23) fueron de 0.07, 0.29 y 0.50 ppm

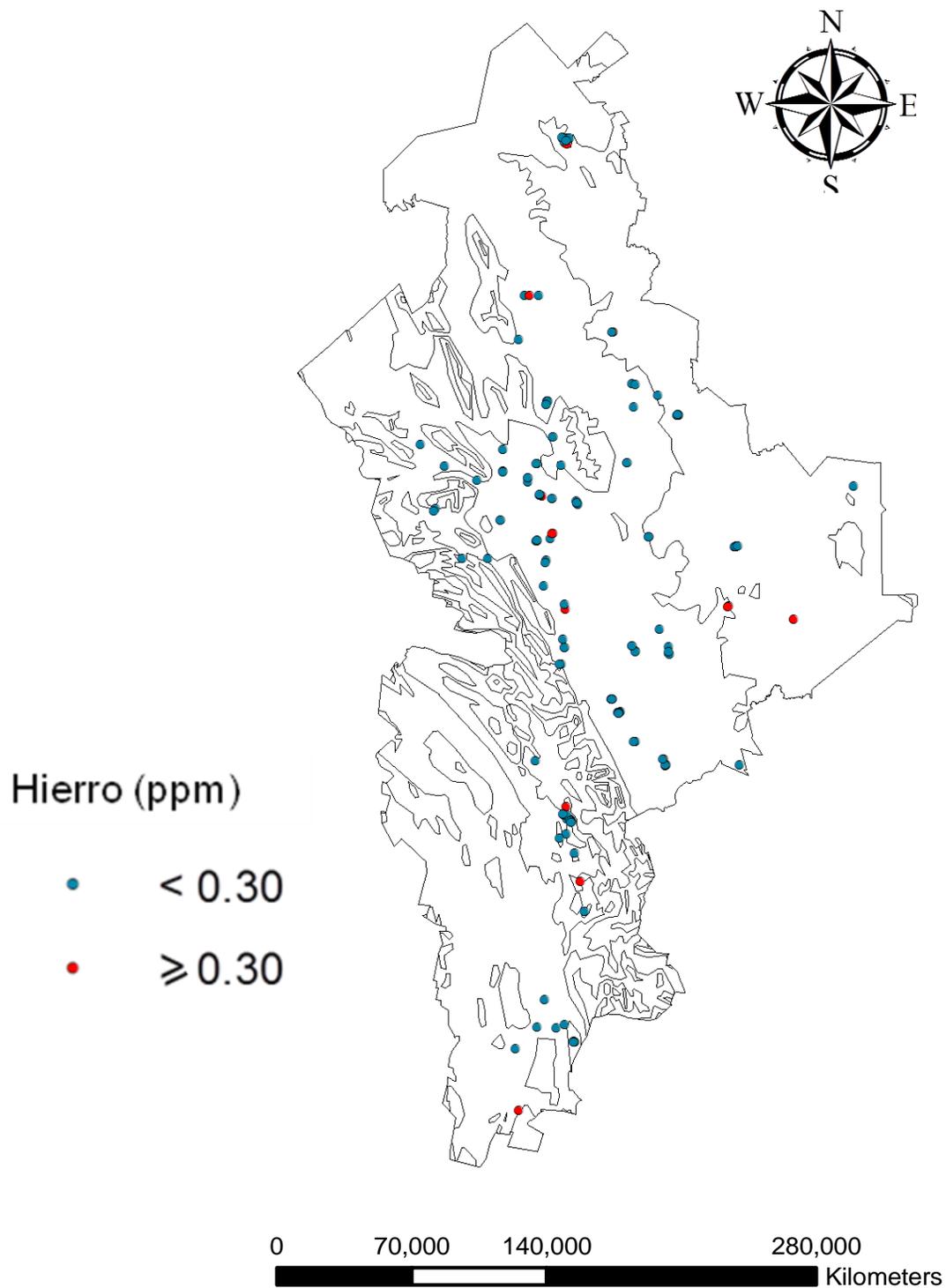


Figura 20. Mapeo de las concentraciones de hierro en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

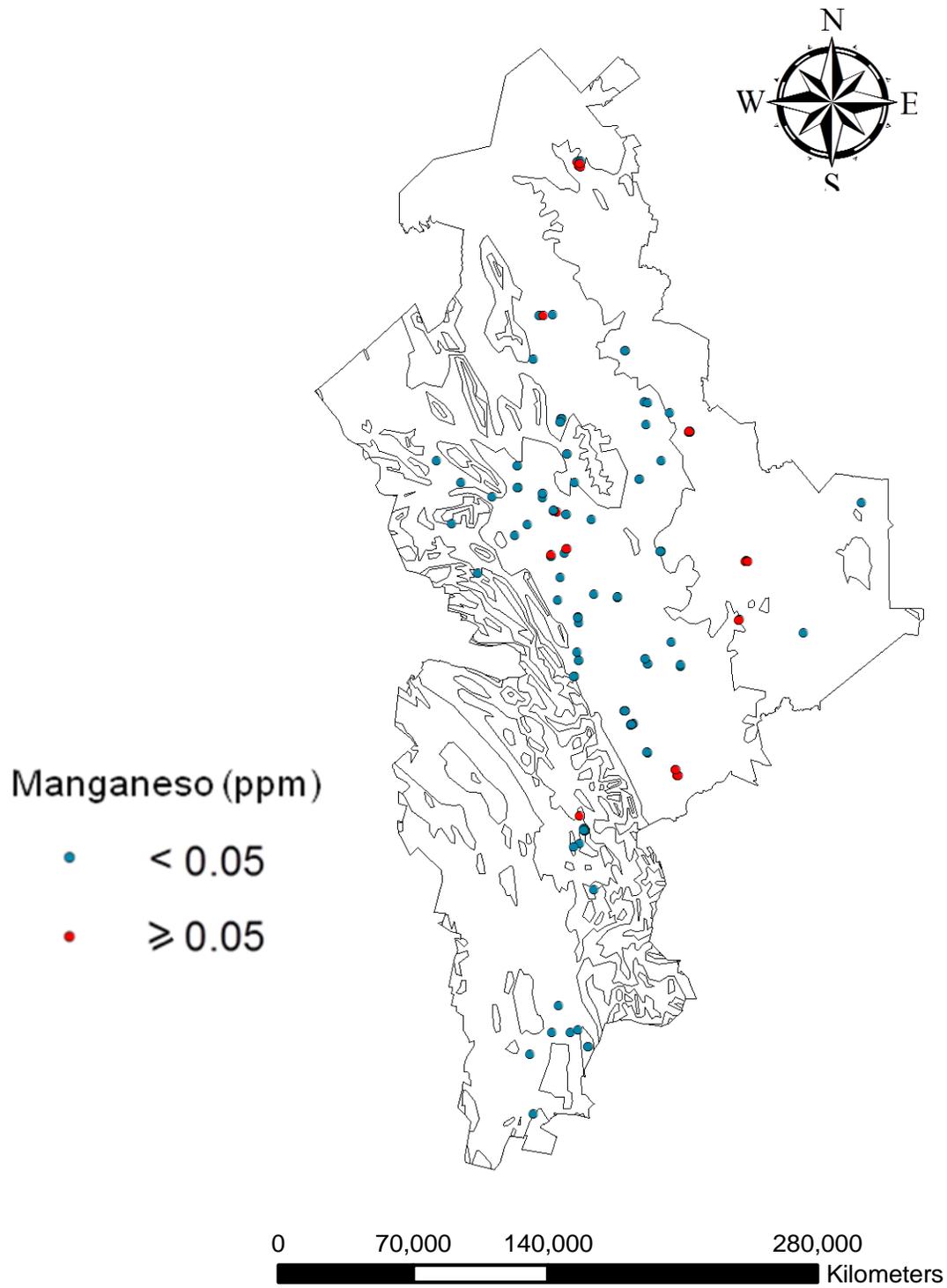


Figura 21. Mapeo de las concentraciones de manganeso en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

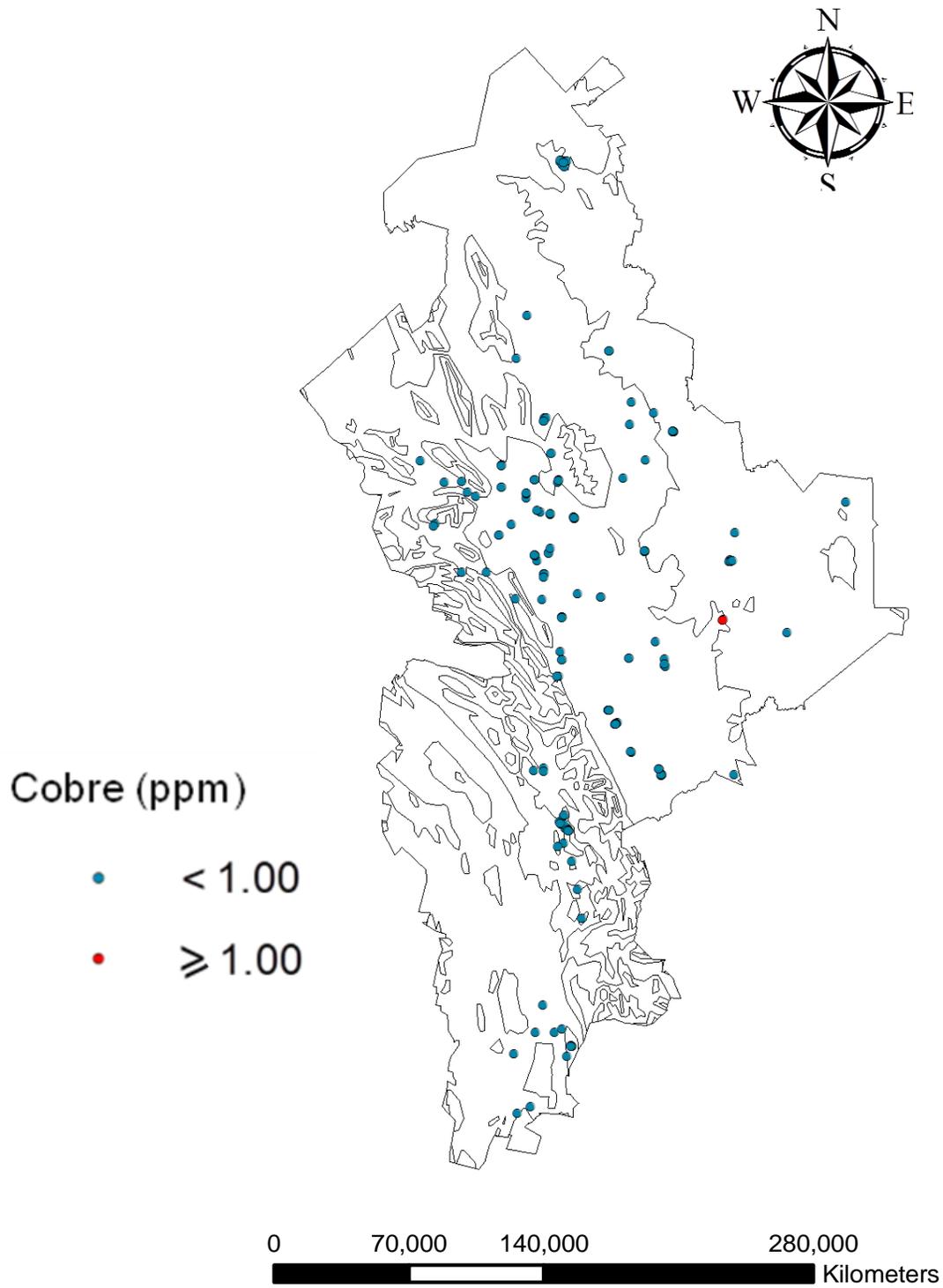


Figura 22. Mapeo de las concentraciones de cobre en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Cuadro 9. Valores medios para minerales traza como para hierro (Fe), manganeso (Mn) y cobre (Cu) de agua de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Variable	Zonas geomorfológicas			P
	SMO <sup>1</sup>	SC <sup>2</sup>	PCT <sup>3</sup>	
Fe (ppm)	0.07	0.29	0.50	0.219
Mn (ppm)	0.29	0.08	0.22	0.078
Cu (ppm)	0.03 <sup>b</sup>	0.03 <sup>b</sup>	0.66 <sup>a</sup>	0.000

<sup>1</sup>SMO, Sierra Madre Oriental

<sup>2</sup>SC, Serranías y Cerros

<sup>3</sup>PCT, Planicie de las Capas del Terciario

<sup>a, b, c</sup> Medias en la misma hilera con diferente superíndice, son estadísticamente diferentes a ( $P < 0.05$ ).

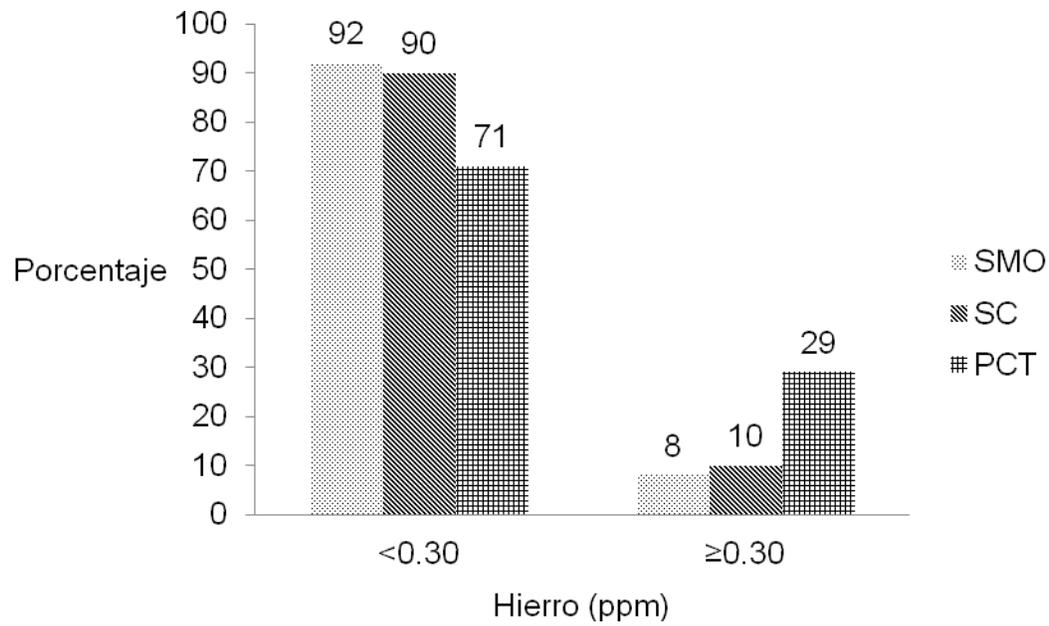


Figura 23. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de hierro, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

para las regiones SMO, SC y PCT, respectivamente. Las concentraciones de manganeso (Figura 24) fueron 0.29, 0.08 y 0.22 ppm para las regiones SMO, SC y PCT, respectivamente. Ambos, Fe y Mn, cuando los niveles de sulfatos en agua aumentan por encima de 200 mg/L, se forman complejos con el sulfato, y la forma principal para estos dos minerales en agua será  $\text{FeSO}_4$  y  $\text{MnSO}_4$ .

La concentración de cobre fue mayor ( $P < 0.001$ ) para la región PCT (0.66 ppm) que para las regiones SMO (0.03 ppm) y SC (0.03 ppm). En la Figura 25, se presentan los porcentajes de muestras de agua de pozo de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León con más de 1 ppm de cobre. En solamente la región PCT se obtuvieron muestras (12%) con una concentración mayor a la anterior. Investigación con minerales traza ha demostrado que las aguas con altas concentraciones de hierro (mayores a 0.3 mg/L) pueden afectar la salud y el desempeño del ganado al reducir la absorción de cobre y zinc (Higgins y Agouridis, 2008).

Looper (2002) reportó las concentraciones máximas de minerales y contaminantes del agua para prevenir la intoxicación del ganado. Estos contaminantes incluyen aluminio (0.5 ppm), arsénico (0.05 ppm), bario (10 ppm), boro (5 ppm), cadmio (0.005 ppm), cromo (0.1 ppm), cobalto (1 ppm), cobre (1 ppm), fluor (2 ppm), hierro (2 ppm), plomo (0.015 ppm), manganeso (0.05 ppm), mercurio (0.01 ppm), nickel (0.25 ppm), selenio (0.05 ppm), zinc (5 ppm), vanadio (0.1 ppm) y zinc (5 ppm).

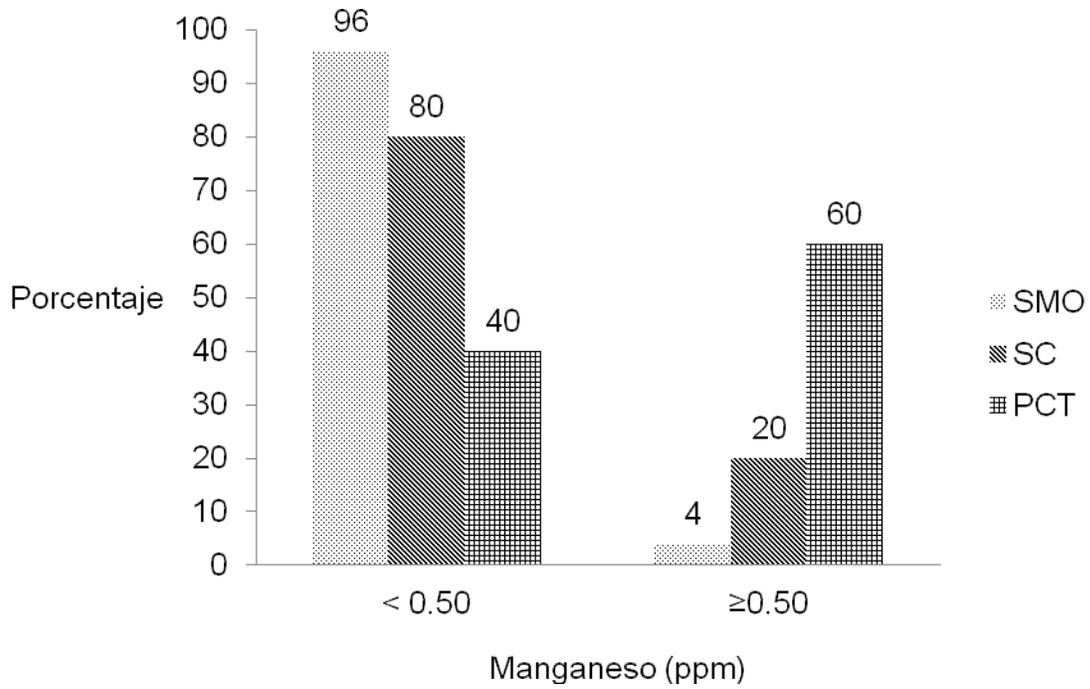


Figura 24. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de manganeso, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

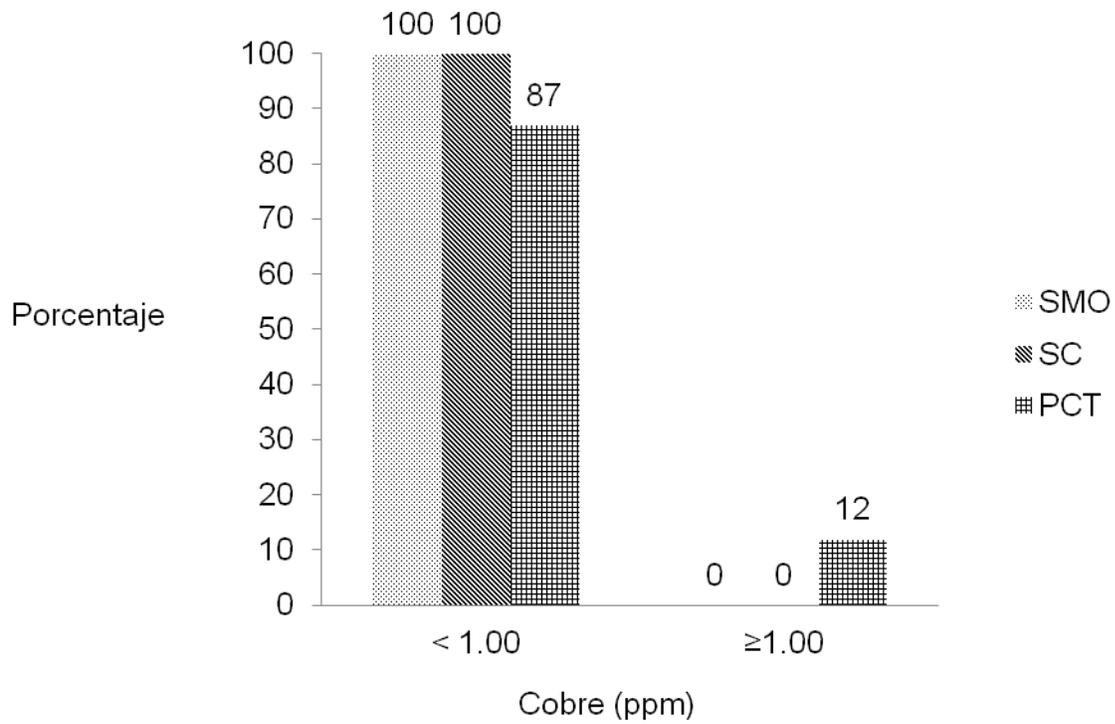


Figura 25. Porcentaje de muestras de agua de pozo con diferentes concentraciones de cobre, en tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

#### 4.9. Nitratos

En la Figura 26, se muestra el mapeo de las concentraciones de nitratos en agua de pozos en tres regiones del estado de Nuevo León. Las concentraciones de azufre se clasifican en  $< 100$  y  $\geq 100$  ppm.

En el Cuadro 10, se presenta la media y el error estándar de la concentración de nitratos del agua de las tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León. La concentración promedio de nitratos varió ( $P < 0.042$ ), siendo mayor para la región SC (7.3 ppm) en comparación con las regiones SMO (2.4 ppm) y SC (1.6 ppm), sin obtener una diferencia entre las dos últimas regiones. Con un nivel máximo de 0.3 ppm de hierro en agua, 8, 10 y 29% de las muestras de las regiones SMO, SC y PCT, tuvieron concentraciones mayores (Figura 23).

Altas concentraciones de nitratos en agua pueden intoxicar al ganado. Las concentraciones de nitratos son encontrados en mayores concentraciones que los nitritos, los cuales son mas tóxicos. En rumiantes que tienen una fermentación pre-gástrica y los caballos que tienen un gran ciego, las bacterias reducen los nitratos en nitritos, los cuales entran a la sangre e interfieren con la habilidad de la hemoglobina de transportar oxígeno, muriendo los animales de anoxia.

En aves y cerdos, el problema es mucho menor debido a que carecen de fermentaciones significativas en su tracto digestivo. Cuando ambos, agua y alimento, contienen altas concentraciones de nitratos, la posibilidad de una intoxicación es mayor, siendo importante analizarlos cuando se sospeche que contienen altas concentraciones de nitratos. Los ensilajes y los henos cosechados durante épocas de sequía tienen una mayor concentración de nitratos. Los síntomas de intoxicación

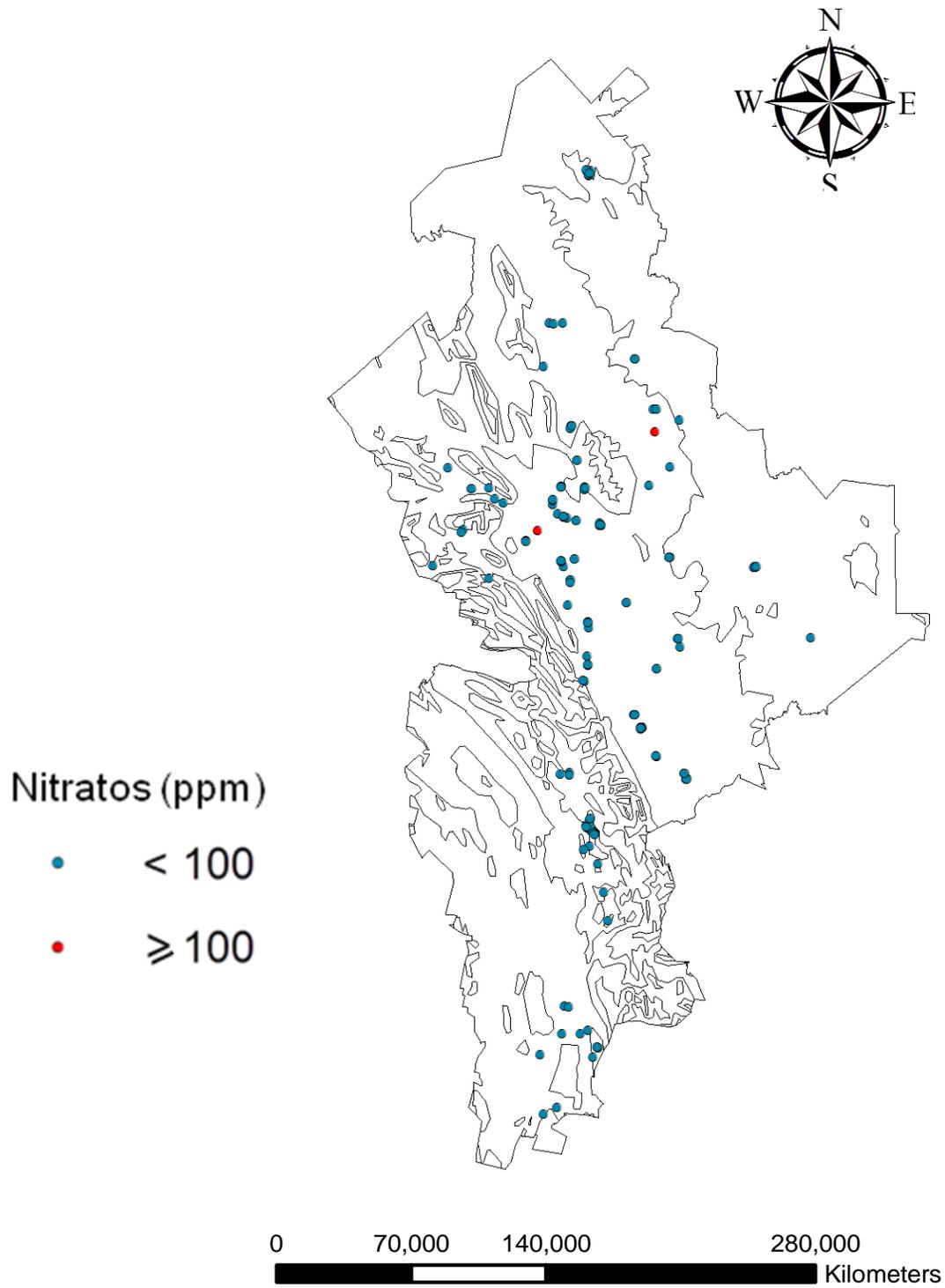


Figura 26. Mapeo de las concentraciones de nitratos en agua de pozos de tres regiones geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Cuadro 10. Valores medios para nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y nitrógeno de los nitratos ( $\text{N-NO}_3$ ) de agua de tres zonas geomorfológicas del estado de Nuevo León.

Variable	Zonas geomorfológicas			P
	SMO <sup>1</sup>	SC <sup>2</sup>	PCT <sup>3</sup>	
$\text{NO}_3$ (ppm)	9.4 (3.7)	23.6 ( 2.3)	0.7 (6.1)	0.000
$\text{N-NO}_3$ (ppm)	2.2 (0.9)	5.7 (0.6)	0.6 (1.5)	0.000

<sup>1</sup>SMO, Sierra Madre Oriental

<sup>2</sup>SC, Serranías y Cerros

<sup>3</sup>PCT, Planicie de las Capas del Terciario

<sup>a, b, c</sup> Medias en la misma hilera con diferente superíndice, son estadísticamente diferentes a ( $P < 0.05$ ).

por nitratos incluyen dificultad para respirar, hocico azulado, temblores, falta de coordinación, e inhabilidad para pararse. Si los animales no se mueren, con la remoción de las fuentes de nitratos, los animales pueden recuperarse total. Aguas con una concentración menor a 100 mg/L (ppm) no debe perjudicar al ganado o las aves. Las concentraciones que varían de 100 a 300 mg/L no son por si solas un problema, a menos que los animales consuman forrajes (forrajes verdes, henos y ensilajes) altos en nitratos. Las concentraciones mayores a 300 mg/L pueden por si solas causar una intoxicación por nitratos (German et al., 2008).

## 5. CONCLUSIONES

La disponibilidad y la calidad del agua de los pozos son extremadamente importantes para la producción y salud de los animales. Los problemas mas comunes de calidad del agua de pozo que afectan al ganado incluyen altas concentraciones de minerales y/o nitratos. En este estudio, la región geomorfológica que tuvo muestras de agua con la peor calidad fue la Planicie de las Capas del Terciario, la región oriental del estado de Nuevo León, con altas concentraciones de sólidos disueltos totales, especialmente, sodio, cloro y azufre. Estas concentraciones fueron mayores al nivel tolerable para la producción intensiva, lo que puede restringir el consumo del agua y alimento, afectando rápida y severamente la producción animal. Es importante considerar que en épocas de sequía, las concentraciones de minerales del agua del subsuelo pueden aumentar, siendo recomendable periódicamente su calidad, especialmente en sistemas de producción intensiva. Otros contaminantes como bacterias, pesticidas y fertilizantes son más comunes en aguas superficiales, aunque pueden contaminar el agua del subsuelo. Actualmente, es poco el uso de sistemas de purificación del agua del subsuelo en sistemas de producción pecuaria, como la osmosis inversa, pudiendo ser más redituable en el futuro, conforme se hace más escasa la disponibilidad del agua.

## 6. LITERATURA CITADA

- Adams, R.S., Sharpe, W.E. 2001. Water intake and quality for dairy cattle. Dairy & Animal Science. DAS 95-8.
- Ahamed, M.H., Farid M.F.A., Shawket S.M., Hassan N.I. 1989. Effects of water deprivation on feed utilization and mineral balances in sheep drinking natural saline well water. J Arid Environ 16:323-329.
- Bagley, C.V., Kotuby, A.J., Farrell, P.K. 1997. Analysis of water quality for livestock. Utah State University Cooperative Extension; Ah/Beef/28.
- Beede, D.K. 2005. Assessment of water quality and nutrition for dairy cattle. Mid-south ruminant nutrition conference.
- Bierman, V. J., Thomas, R. J. 1999. A preliminary modeling analysis of water quality in Lake Okeechobee, Florida: Diagnostic and sensitive analyses. Water Research 29:2767-2775.
- Block, J. C., Clark, R. M., Lykins, B. W., Wymer, I. J., Reasoner, D. J. 1994) Water quality in a simulated distribution system. Aqua-Journal of Water Supply: Research and Technology. 6:263-277.
- Bushinsky, D.A., Smith, S.B., Gavrillov, K.L., Gavrillov, L.F., Li, J., Levi-Setti, R. 2003. Chronic acidosis-induced alteration in bone bicarbonate and phosphate. AmJ Physiol Renal Physiol 285:F532-F539.
- Burton, A.C., Cornhill, J.F. 1997. Correlation of cancer death rates with altitude and with the quality of water supply of the 100 largest cities in the United States. J Toxicol Environ Healt. 3:465-478.

- Cammack, K.M., Wright, C.L., Austin, K.J., Johnson, P.S., Cockrum, R.R., Kessler, K.L., *et al.* 2010. Effects of high-sulfur water and clinoptilolite on health, and growth, performance of steers fed forage-based diets. *J Anim Sci*; 88:1777-1785.
- Challis, D. J., J. S. Zeinstra, and M. J. Anderson. 1987. Some effects of water quality on the performance of high yielding dairy cows in an arid climate. *Vet. Rec.* 120:12-15.
- Cole, D., L. Todd, and S. Wing. 2000. "Concentrated Swine Feeding Operations and Public Health: A Review of Occupational and Community Health Effects." *Environmental Health Perspectives* 108: 685-699.
- Curran, G., Robson, S. 2007. Water for livestock: interpreting water quality test. *Prime facts.* 533.
- Denek, N., Can, A. 2006. Feeding value of wet tomato pomace ensiled with wheat straw and wheat grain for Awassi sheep. *Small Ruminant Research.* 65:260-265.
- DeZuane, J. 1990. *Handbook of drinking water quality: Standards and controls*, 1<sup>st</sup> ed. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Eisler, R., Wiemeyer. S. N. 2004. Cyanide hazards to plants and animals from gold mining and related water issues. *Rev. Environ Contam Toxicol.* 183:21-54.
- Faries, F. C., Sweeten, J., Reagor, J. 2002. *Water quality: Its relationship to livestock.* AgriLife Extension. L-2374.
- German D., Thiex, N., Wrigth C. 2008. *Interpretation of water analysis for livestock suitability.* South Dakota State University.

- Gould, D.H., Dargatz, D.A., Garry, F.B., Hammar, D.W., Ross, P.F. 2002. Potentially hazardous sulfur conditions on beef cattle ranches in the United States. *Javma* Vol 221, No. 4.
- Grout, A.S., Veira, D.M., Weary, D.M., Von Keyserlingk, M.A., Fraser, D. 2006. Differential effects of sodium and magnesium sulfate on water consumption. *J Anim Sci.* 84:1252-1258.
- Hamlen, H., Clark, E., Janzen, E. 1993. Polioencephalomalacia in cattle consuming water with elevated sodium sulfate levels: A herd investigation. *Can Vet J.* 34:153-158.
- Heller V. G. (1933). The effects of saline and alkaline waters on domestic animals. *Oklahoma Agric. Exp. Sta. Bull* 217:4-23.
- Higgins, S. F., Agouridis, C. T., Gumbert, A. A. 2008. Drinking water guidelines for cattle. Cooperative extension service: University of Kentucky.
- Hoffman, M.P., Self, H.L. 1972. Factors affecting water consumption by feedlot cattle. *J Anim. Sci.* 35, No. 4.
- Johnson, C.E., Harbers, L.H., Prescott, J.M. 1959. Effect of alkaline drinking water on the pH and microbial activity of the rumen. Texas Agricultural Experiment Station, College Station.
- Kawas, J. R., Mahgoub, O., Lu, C. D. 2011. Chapter 6. Nutrition of the meat goat. In: *Goat Meat Production and Quality*. Eds. O. Mahgoub, I.T. Kadim and E. Webb. CAB International, GPI Group, UK.
- Krider, J. 1987. Assessing Animal Waste Systems' Impacts on Groundwater: Occurrences and Potential Problems. *Rural Groundwater Contamination*. F. M.

- D'Itri, and L.G. Wolfson. Chelsea, MI, Lewis Publishers, Inc.: 115-128;
- Huffman, R. L., and P. Westerman (1991).
- Lagger, J.R., Mata, H.T., Pechin, G.H., Larrea, A.T., Otrosky, R.N., Cesan, R.O., *et al.* 2002. La importancia de la calidad del agua en producción lechera. *Veterinaria Argentina.* 165:346-354.
- Lardy, G., Stoltenow, C. 1999. *Livestock and water.* NDSU.
- Looper, M.L., Waldner, D.N. *Water for dairy cattle.* Cooperative Extension Service. Guide D107.
- Loneragan, G.H., Wagner, J.J., Gould, D.H., Garry, F.B., Thoren, M.A. 2001. Effects of water sulfate concentration on performance, water intake, and carcass characteristics on feedlot steers. *J Anim Sci.* 79:2941-2948.
- Monarca, S., Donato, F., Zerbini, I., Calderon, R.L., Craun, G.F. 2006. Review of epidemiological studies on drinking water hardness and cardiovascular diseases. *Eur. J. Cardiovasc. Prev. Rehabil.* 13: 495:506.
- Markwick, G. 2001. *Water requirements for sheep and cattle.* Primefact. 326.
- Morgan, S.E. 2011. *Water quality for cattle.* *Vet Clin Food Anim.* 27:285-295.
- Mullerried, F. 1944. *Geología del Estado de Nuevo León.* Universidad de Nuevo León. *An. Inst. Invest. Cient. Num* 1:167-199.
- Murphy, M. R., C. L. Davis, and G. C. McCoy. 1983. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 66:35-38.
- Murphy, M. R. 1992. *Water metabolism of dairy cattle.* *J. Dairy Sci.* 75:326-333.

- Nordbeg, G.F., Goyer, R.A., Clarkson, T.W. 1985. Impact of effects of acid precipitation on toxicity of metals. *Environ Health Prospect.* 63:169-180.
- NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition. National Academy Press.
- NRDC (2006). Facts about pollution from livestock farms, Natural Resources Defense Council.
- NRC, 2005. Minerals and acid-base balance. pp. 449-452 in mineral tolerance of animals. National Academies Press.
- Patterson, H.H., Johnson, P.S., Epperson, W.B. 2003. Effect of total dissolved solids and sulfates in drinking water for growing steers. Proceeding, Western Section, American Society of Anim Sci. Vol 54.
- Olson, L. J., Erickson, B. J., Hinsdill, R. D., Wyman, J. A., Porter, W. P., Binning, L. K., Bidgood, R. C., Nordheim, E. V. 1981. *Archives of environmental contamination and toxicology.* 16:433-439.
- Peirce, A.W. 1960. Studies on salt tolerance of sheep. III. The tolerance of sheep for mixtures of sodium chloride and sodium sulfate in the drinking water. *Aust J Agric Res* 11:548-556.
- Peirce, A.W. 1968. Studies on salt tolerance of sheep. VIII. The tolerance of ewes and their lambs in pens for drinking waters of the types obtained from underground sources in Australia. *Aust J Agric Res* 19:577-587.
- Potter, B. J. 1963. The effect of saline water on kidney tubular function and electrolyte excretion in sheep. *Aust J Agric Res* 14:518-528.

- Potter, B.J., Walker, W.C., Forrest, W.W. 1972. Changes in intraruminal function on sheep when drinking water saline water. *Br J Nutr.* 27:75-83.
- Raisbeck, M., Riker, C., Tate, C., Jackson, R., Smith, M., Reddy, K., Zygmunt, J. 2008. Water quality for Wyoming livestock and wildlife, a review of the literature pertaining to health effects of inorganic contaminants. University of Wyoming Department of Veterinary Sciences, UW Department of Renewable Resources, Wyoming Game and Fish Department, Wyoming department of environmental quality. B-1183.
- Ray, D.E. 1986. Limiting the effects of steers of stress on cattle. *Water. Utah Agric Exp Sta Bull.* 512:17-26.
- Ritskes-Hoitinga, J. Meijers, M., Van Herck H. 1998. Bacteriological quality and intake of acidified drinking water in Wistar rats is pH-dependet. *Scand J Lab Anim Sci* 25:124-128.
- Sanchez, W. K., M. A. McGuire, and D. K. Beede. 1994. Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: Review and original research. *J. Dairy Sci.* 77:2051-2079.
- Sandals, W.C.D. 1978. ACUTE SALT POISONING IN CATTLE. *CAN. VET. J.* 19: 136-137.
- Saul, G.R., Flinn, P.C. 1985. Effects of saline drinking water on growth and water and feed intakes of weaner heifers. *Aust J Agric* 25:734-738.
- Sexson, J.L., Wagner, J.J., Engle, T.E., Spears, J.W. 2009. Effects of water quality and dietary potassium on performance on and carcass characteristics of yearling steers. *J Anim Sci.* 88:296-306.

- Solomon, R., Miron, J., Ben, G.D., Zomberg, Z. 1995. Performance of high producing dairy cows offered drinking water of high and low salinity in the Arava Desert. *J Dairy Sci.* 78:620-624.
- Tolo, K.J., Erichsen, S. 1969. Acidified drinking water and dental enamel in rats. *Z Versuchstierkd* 11:229-233.
- Wallinga, D. 2004. Concentrated Animal Feeding Operations: Health Risks from Air Pollution. Minneapolis, MN, Institute for Agriculture and Trade Policy, Food and Health Program.
- Weeth, H.J., Haverland, L.H. 1961. Tolerance of growing cattle for drinking water containing sodium chloride. *J Anim. Sci.* 20:518-521.
- Whiting, D., M. Roll and L. Vickerman. 2011. Plant growth factors: water. [www.cmg.colostate.edu](http://www.cmg.colostate.edu)
- Wilde, F. 2006. Chapter 4, Collection of water samples, in *Handbooks for Water-Resources Investigations. Techniques of Water-Resources Investigations Book 9. National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data.* U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey.
- Willms, W. D., Kenzie, O. R., McAllister., T. A., Colwell, D., Veira, D., Wilmshurst, T. E., Olson, M. E. 2002. Effects of water quality on cattle performance. *J. Range Management* 55:452-460.