

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



TESIS

INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS SISTEMAS DE FLUJO
DE LA PARTE NORTE DEL ALTIPLANO POTOSINO

ELABORADA POR
ANGÉLICA BUENO PEDROZA

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

BECARIO CONACYT NO. 169785
BECARIO SIHGO-PROYECTO 2002020604

ESTA TESIS FUE REALIZADA CON FONDOS DEL PROYECTO CONACYT-SIHGO
CONVENIO 2002020604

LINARES, N. L.

FEBRERO DE 2005

TM

Z5818

.E3

FCT

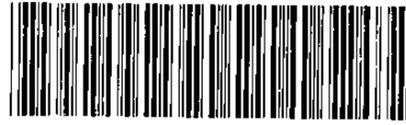
2005

.B8

MAESTRÍA

ANGÉLICA BUENO PEDROZA

2005



1020150567

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



T E S I S

**INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS SISTEMAS DE FLUJO
DE LA PARTE NORTE DEL ALTIPLANO POTOSINO**

**ELABORADA POR
ANGÉLICA BUENO PEDROZA**

**HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**BECARIO CONACYT NO. 169785
BECARIO SIHGO-PROYECTO 2002020604**

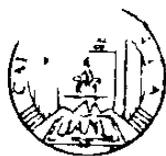
**ESTA TESIS FUE REALIZADA CON FONDOS DEL PROYECTO CONACYT-SIHGO
CONVENIO 2002020604**

LINARES, N. L.

FEBRERO DE 2005

988 864

TM
Z5818
.E3
FCT
0005
.B8



FONDO
TESIS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
HDA. DE GUADALUPE CARR. A CERRO PRIETO KM. 8, A.P. 104
67700 LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO
TELS. (821) 21 420 30 y 21 420 20, FAX (821) 21 420 30



La Tesis

**INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS SISTEMAS DE
FLUJO DE LA PARTE NORTE DEL ALTIPLANO POTOSINO.**

Elaborada por

ANGÉLICA BUENO PEDROZA

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar el grado académico de

MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Vo. Bo.
DIRECTOR DE TESIS

DR. JAVIER CASTRO LARRAGOITIA

ASESOR EXTERNO

M.C. ANTONIO CARDONA BENAVIDES

LINARES, N.L.

NOVIEMBRE DE 2004



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
HDA. DE GUADALUPE CARR. A CERRO PRIETO KM. 8, A.P. 104
67700 LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO
TELS. (821) 21 420 30 y 21 420 20, FAX (821) 21 420 30



La Tesis

**INTERPRETACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS SISTEMAS DE
FLUJO DE LA PARTE NORTE DEL ALTIPLANO POTOSINO**

Elaborada por

ANGÉLICA BUENO PEDROZA

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar el grado académico de

MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

Vo. Bo.
COMITÉ DE REVISIÓN

DR. JAVIER CASTRO LARRAGOITIA

DR. DIRK MASUCH OESTERREICH

M.C. TOMÁS COSSIO TORRES

Vo. Bo.
SUBDIRECTOR DE POSGRADO

DR. JUAN ALONSO RAMÍREZ FERNÁNDEZ

LINARES, N.L.

NOVIEMBRE DE 2004

Dedicada a...

Los dos eventos más
afortunados de Mi Vida:
Juan Miguel e Isaac

Y para mis héroes por siempre
Tomás y Linda

También para

Emma
Bella
Carolina
Luis Gerardo

Jaime
Francisco Javier
Blanca

En agradecimiento por hacer de mi vida algo tan feliz y lleno de amor

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca-crédito otorgada para el desarrollo de mis estudios de Maestría.

A mis Directores de Tesis Dr. Javier Castro y M.C. Antonio Cardona., por su orientación y apoyo incondicional durante la realización de esta investigación. Tan buenos maestros como amigos.

Al Dr. Dirk Masuch por las revisiones realizadas a este trabajo y colaboración en el mismo así como por el material facilitado para su terminación y al M.C. Tomás Cossío Torres por sus revisiones y comentarios hacia este trabajo. Gracias a ambos también por su amistad.

Al Dr. Juan Alonso Ramírez Fernández, Sub-Director de Posgrado, por su apoyo para ingresar a esta institución y la atención oportuna que tuvo durante la estancia en la misma.

Al Dr. Uwe Jenchen, por sus interesantes y dinámicas clases, por esa amistad brindada y las innumerables tazas de café que me ha regalado.

Al Dr. Francisco Medina y Dr. Héctor de León Gómez, por compartir sus conocimientos en clase.

A todo el personal que labora en la FCT por los servicios prestados.

A mis compañeros de la UASLP Arturo Pérez y Elías Nuñez por su ayuda y compañía en los recorridos de campo que resultaron en ocasiones verdaderamente riesgosos y brindarme su valiosa amistad durante mi estancia.

A Sandra y Gela del laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por sus atenciones y la realización de algunos de los análisis químicos de este trabajo

A la Comisión Estatal de Agua en Matehuala por su aportación material para este trabajo

Al Servicio de Agua Potable y Saneamiento de Matehuala por el material facilitado.

A la Señora Socorro Dueñas por su hospitalidad y atenciones.

A mis compañeros de Posgrado Juan Miguel Armas, Adalberto Treviño, José Juan Medina, Araceli Rivera, Natalia Amezcua, Elizama Requena, Liliana Lizárraga y Ernesto Nuñez.

Resumen

Se realizó la interpretación hidrogeoquímica del acuífero Cedral-Matehuala ubicado dentro del Altiplano en el estado de San Luis Potosí. La población de esta zona semi-árida del estado sustenta su consumo de agua casi en su totalidad en fuentes subterráneas; la ciudad de Matehuala es el núcleo de población más importante de la zona y es abastecida por medio de una batería de pozos ubicados a varias decenas de kilómetros hacia el noroeste, en las cercanías de la ciudad de Cedral. Se obtuvieron muestras de agua subterránea de diversos tipos de aprovechamientos durante dos campañas de muestreo. Un primer muestreo incluyó 62 muestras y se realizó en temporada de estiaje y un segundo muestreo (56 muestras) en la temporada de lluvias. Las determinaciones realizadas en laboratorio incluyeron aniones (SO_4 , Cl , NO_3 , PO_4 y F), cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}), elementos traza (Li , B , Mn , Fe , Cu , Zn , As , Se , Pb y U , p. ej.). La dirección general de flujo es norte sur y en algunas zonas llega a ser noroeste-sur sureste, localizándose la zona de recarga al norte y al oeste del área de estudio. Los resultados obtenidos muestran que existen tres zonas con características químicas diferentes. El área de los aprovechamientos situados en las cercanías de la Sierra de Catorce presenta el agua de mejor calidad dentro de la zona de estudio, con los contenidos más bajos registrados de STD, SO_4 y dureza aunque está tiene una distribución muy limitada correspondiente a los manantiales situados en la parte sureste de la Sierra de Catorce. Una zona con agua de calidad relativamente aceptable se localiza en la parte norte del área de estudio donde los valores de la mayoría de los parámetros más importantes se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma mexicana, sin embargo en una cantidad significativa de muestras se tienen valores de dureza y SO_4 por encima de la norma. Otra zona la constituye el área de la ciudad de Matehuala y sus cercanías con agua de mala calidad para el consumo humano, con valores de STD y SO_4 sumamente elevados y presencia de elementos traza (As principalmente) importante por su repercusión en la salud. Por medio de los índices de saturación de diversas especies minerales es posible identificar procesos de disolución mineral, sustitución y adsorción que producen cambios en la composición química del agua a lo largo de la línea de flujo. La presencia de elevadas concentraciones de arsénico en algunos de los aprovechamientos localizados en el margen N-NE de la ciudad de Matehuala, sugieren la presencia de fuentes contaminantes en esa región y evidencian una contaminación que está avanzando hacia el sur del área de estudio, en el sentido del sistema de flujo.

Lista de Figuras

Página

Figura 1. Distribución de extracciones de agua subterránea en los diversos sectores.	2
Figura 2. Área de estudio.	4
Figura 3. Vías de comunicación.	5
Figura 4. Crecimiento de la población en el área de estudio.	6
Figura 5. Proyección de la población para el año 2020.	6
Figura 6. Precipitación media anual.	8
Figura 7. Temperatura media anual.	8
Figura 8. Fotografía de la vegetación en del área de estudio.	10
Figura 9. Provincias fisiográficas de México.	11
Figura 10. Regiones y cuencas hidrológicas.	13
Figura 11. Mapa hidrogeológico del área de estudio.	26
Figura 12 Presas de jales y canales de escurrimiento del distrito minero de villa de la paz.	30
Figura 13 Diagrama de estabilidad Eh pH de especiación de As disuelto.	36
Figura 14. Hoja de campo para censo de aprovechamientos	51
Figura 15. Arreglo de celda de aislamiento	53
Figura 16. Titulación por el método de Gran.	56
Figura 17. Gráfica de balances de electroneutralidad.	61
Figura 18. Mapa de localización de aprovechamientos muestreados.	64
Figura 19. Mapa de la distribución de la temperatura en los aprovechamientos muestreados.	67
Figura 20. Mapa de la distribución de la conductividad eléctrica en el área de estudio.	69
Figura 21. Mapa de la distribución de Sólidos Totales disueltos.	70
Figura 22. Mapa de la concentración de sulfato.	72
Figura 23. Mapa de la distribución de sulfato.	73
Figura 24. Mapa de distribución de cloruro.	75

Figura 25. Mapa con la localización de puntos elevados de N-NO ₃ .	77
Figura 26. Mapa de la distribución de fluoruro.	80
Figura 27. Mapa con la distribución de la dureza	82
Figura 28. Diagrama de Piper.	84
Figura 29. Mapa con la distribución espacial de la clasificación de Stiff.	86
Figura 30. Mapa de los aprovechamientos con cantidades medidas de arsénico superior a la normas.	92
Figura 31. Gráfica de saturación de calcita	95
Figura 32. Gráfica de saturación de yeso.	96
Figura 33. Gráfica de saturación de siderita.	96
Figura 34. Gráfica de saturación de fluorita.	97
Figura 35. Gráfica de saturación de estroncianita.	98
Figura 36. Mapa de las profundidades al nivel estático.	99
Figura 37. Mapa de la distribución de la saturación de yeso.	103
Figura 38. Gráfica de la saturación de yeso en relación con la concentración de sulfato.	105
Figura 39. Gráfica de la concentración de calcio en relación con la concentración de sulfato.	105
Figura 40. Gráfica de la concentración de magnesio con relación a la concentración de sulfato.	105
Figura 41. Relación de las concentraciones de cloruro y sodio.	106
Figura 42. Mapas de saturación de jarosita y yeso.	110
Figura 43. Gráfica de saturación de jarosita	112
Figura 44. Mapa de la distribución del arsénico en la zona sur.	113
Figura 45. Gráfica de saturación de la ferrihidrita.	114
Figura 46. Gráfica de saturación de goethita.	114
Figura 47. Modelo conceptual	119

Lista de tablas.**Página**

Tabla 1. Balance de aguas subterráneas.	3
Tabla 2. Clasificación de aridez	7
Tabla 3. Problemas de suministro de agua a nivel mundial.	40
Tabla 4. Situación mundial de contaminación por arsénico.	43
Tabla 5. Trabajos previos.	47
Tabla 6. Especies preservadas, recipientes usados y conservadores utilizados.	53
Tabla 7. Elementos sensibles a los cambios redox.	59
Tabla 8. Parámetros físicos y químicos del primer muestreo.	65
Tabla 9. Parámetros físicos y químicos del segundo muestreo.	66
Tabla 10. Temperaturas más altas y bajas.	68
Tabla 11. Muestras con contenidos elevados de cloruro.	74
Tabla 12. Muestras con concentraciones elevadas de N-NO3.	76
Tabla 13. Muestras con contenidos de fluoruro mayores a la norma.	79
Tabla 14. Muestras con contenidos elevados de sodio.	81
Tabla 15. Grupos de agua.	85
Tabla 16. Química de los aprovechamientos de agua para uso doméstico.	87
Tabla 17. Muestras de agua con contenidos elevados de fierro utilizados con fines potables.	89
Tabla 18. Muestras que sobrepasan el límite establecido por la OMS para arsénico.	90
Tabla 19. Muestras que sobrepasan la NOM-127-SSA1-1994 para arsénico.	90
Tabla 20. Especies de arsénico dominantes.	93

Lista de Abreviaturas

Alc	Alcalinidad
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CMCM	Cuenca Mesozoica del Centro de México
CNA	Comisión Nacional del Agua
DALY	Dissability Adjusted Life Years
DESISA	Desarrollos y Sistemas Sociedad Anónima
ESD	Engineered Systems & Design
FAA	Flame Atomic Absortion
FCQ	Facultad de Ciencias Químicas
FIAAS	Flow Injection Atomic Absortion Spectrometer
Geomex	Geohidrológica Mexicana
Ha	Hectáreas
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
IEPSA	Ingeniería de Evaluación y Prospección Sociedad Anónima
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
max	Máxima
med	Media
meq	Miliequivalente
mg	Miligramo
mm	Milímetro
Mm	Millones de metros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N	Norte
ND	Nivel Dinámico
NE	Nivel Estático
ng	Nanogramos
NIST	National Institute for Standards and Technology
NL	Nuevo León
NRC	National Research Council
OMS	Organización Mundial de la Salud
Ppb	Partes por billón
Ppm	Partes por millón
PVSLP	Plataforma Valles-San Luis Potosí
S	Sur
SAPSAM	Servicios de Agua Potable y Saneamiento de Matehuala
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SEMIP	Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal
SLP	San Luis Potosí
SPP	Secretaría de Programación y Presupuesto
STD	Sólidos Totales Disueltos
T	Temperatura
UASLP	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
UNEPU	United Nations Environment Program
V	Volumen
WHO	World Health Organization