



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL
DEPÓSITO DE ZEOLITA DE SAN PEDRO DE
URES, SONORA, MÉXICO



TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
GEÓLOGO

PRESENTA:
RAMÓN FRANCISCO MARTÍNEZ ESCORZA



HERMOSILLO, SONORA, SEPTIEMBRE DE 2017

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Hermosillo, Sonora, 15 de junio de 2017

DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE SONORA
Presente.-

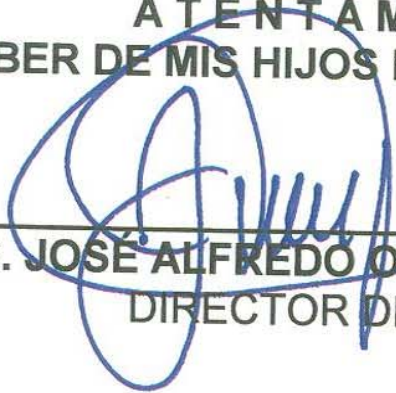
Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para su aprobación el siguiente tema de Tesis, intitulado:

“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL DEPÓSITO DE ZEOLITA DE SAN PEDRO DE URES, SONORA, MÉXICO”.

Esto es con el fin de que el alumno **Ramón Francisco Martínez Escorza** con **Expediente No. 209204022**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología.

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente, quedamos de Usted.

A T E N T A M E N T E
“EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA”



M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO
DIRECTOR DE TESIS

C.c.p. Interesado.



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

Hermosillo, Sonora, 26 de junio, 2017

M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO
DIRECTOR DE TESIS
DRA. DIANA MEZA FIGUEROA
ASESORA DE TESIS

P R E S E N T E.-

Por este conducto, le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted intitulado:

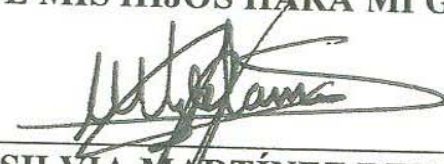
**"Caracterización mineralógica del depósito de zeolita
de San Pedro de Ures, Sonora, México"**

Esto es con el fin de que el alumno: **Ramón Francisco Martínez Escorza** con **Expediente No. 209204022**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo les comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

Presidente Dra. Diana María Meza Figueroa
Secretario M.C. Ricardo Amaya Martínez
Vocal M.C. José Alfredo Ochoa Granillo

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"


DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO.



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS:

**"CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL DEPÓSITO DE
ZEOLITA DE SAN PEDRO DE URES, SONORA, MÉXICO".**

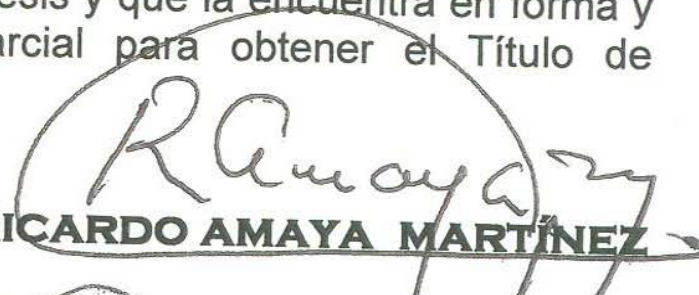
NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

RAMÓN FRANCISCO MARTÍNEZ ESCORZA

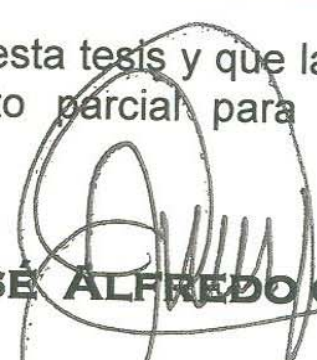
La que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


DRA. DIANA MARÍA MEZA FIGUEROA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


M.C. RICARDO AMAYA MARTÍNEZ

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuado, como requerimiento parcial para obtener el Título de Licenciatura en la Universidad de Sonora.


M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO

A T E N T A M E N T E
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"


DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo.

INDICE

Agradecimientos	4
Lista de Figuras.....	5
Lista de Tablas	8
1.- Introducción.....	10
1.2. Propiedades físicas y químicas	13
1.3. Génesis.....	14
2. Objetivos	15
2.1 Objetivo General	15
2.2. Objetivos Particulares	15
3. Antecedentes	16
<i>Toxicidad de zeolitas: Erionita</i>	16
4. Área de Estudio	25
4.1 Localización y Vías de acceso	25
5. Metodología.....	27
5.1. Descripción de unidades litológicas	27
5.2 Muestreo	28
5.3 Preparación de la muestra.....	30
5.4. Análisis.....	31
5.4.1 Difracción de Rayos X.....	31
5.4.2 Fluorescencia de Rayos X con Microtubos Niton XLt3 Thermoscientific	32
5.4.3 Petrografía y Microscopía Eletrónica de Barrido (SEM-EDS)	34
6. Resultados.....	35
6.1 Microcuenca.....	37
6.2 Caracterización mineralógica de la zeolita por Difracción de Rayos X y recolección del patrón se basó en un intervalo 2θ de 8° - 38° y una longitud de onda de 1.54060.	38
Discusión.....	44
6.3 Geoquímica de muestra total por el método de Fluorescencia de Rayos X	45
Discusión.....	52
Imágenes en microscopio electrónico de barrido SEM-EDS.....	53
6.4. Análisis químico y morfológico por microscopio electrónico de barrido..	55

Discusión..... 72

6.5. Principales corrientes 73

6.6 Mapa de alteraciones 74

6.7 Sección en campo..... 75

7. Conclusiones..... 76

8. Recomendaciones..... 77

Regulaciones ambientales. 77

9. Bibliografía..... 78

10. Anexos 82

 Anexo 1 82

 Anexo 2 83

 Anexo 3 84

 Anexo 4 85

 Anexo 5 86

 Anexo 6 87

 Anexo 7 88

 Anexo 8 89

 Anexo 9 90

 Anexo 10 91

 Anexo 11 92

 Anexo 12 93

 Anexo 13 94

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración de muchas personas e instituciones a las cuales quiero agradecer todo su apoyo.

Agradezco a la Dra. Diana Meza Figueroa por invitarme a participar en este proyecto, por su apoyo en las diversas etapas y compartir sus amplios conocimientos relacionados con el tema a lo largo de la investigación.

Al M.C José Alfredo Ochoa Granillo por aceptar ser parte de este trabajo, brindarme su apoyo a lo largo del proyecto y compartir sus conocimientos en el campo para el proyecto.

A la Universidad de Sonora, en especial al Departamento de Geología y a la División de Ciencias Exactas y Naturales por el apoyo brindado y financiamiento de becas de apoyo a tesistas para salidas al campo, impresión de tesis y elaboración de láminas delgadas. Además de facilitar equipo para el análisis de las muestras del proyecto.

A la Estación Regional del Noroeste por el apoyo en proporcionar equipo para el análisis de muestras del mineral y mejorar la investigación.

Agradezco a mi familia por todo su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera que fue muy importante para mi desarrollo profesional.

Lista de Figuras

FIGURA 1. UNIDAD ESTRUCTURAL BÁSICA DE UNA ZEOLITA, MOSTRANDO LA DISPOSICIÓN DE LOS ÁTOMOS DE OXÍGENO Y DE SILICIO EN EL TETRAEDRO FUNDAMENTAL, ASÍ COMO LA ESTRUCTURA COMPLEJA FORMADA POR LA UNIÓN DE VARIOS TETRAEDROS. (COSTAFREDA 2011). 12

FIGURA 2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO. LOS PUNTOS NEGROS ETIQUETADOS SE REFIEREN A LAS 41 MUESTRAS DE CAMPO ANALIZADAS. (CATTANEO ET AL., 2010). 16

FIGURA 3. POBLADO DE KANDOVAN, IRÁN. (ILGREN ET AL., 2015). 18

FIGURA 4. CASAS EN CUEVAS DE CENIZA EN EL POBLADO DE KANDOVAN, IRÁN. (ILGREN ET AL., 2015). 18

FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN DEL MINERAL ERIONITA EN ESTADOS UNIDOS Y MÉXICO. (ORTEGA-GUERRERO ET AL., 2013). 20

FIGURA 6. MAPA DÓNDE SE MUESTRA EL VALLE DESDE LA LOCALIDAD DE JUCHIPILA HASTA CALVILLO. (ILGREN ET AL 2008). 21

FIGURA 7. MAPA DE SONORA DONDE SE OBSERVAN DIFERENTES LOCALIDADES CON DEPÓSITOS DE ZEOLITA. (COCHÉME ET AL., 1996). 23

FIGURA 8. LOCALIZACIÓN Y PRINCIPALES VÍAS DE ACCESO EN EL ÁREA DE ESTUDIO DEL EJIDO DE SAN PEDRO DE URES, A 15 KM AL NE DEL MUNICIPIO DE URES. 26

FIGURA 9. IMAGEN DONDE SE OBSERVA UNO DE LOS PRINCIPALES AFLORAMIENTOS DE ZEOLITA EN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRO DE URES (VISTA AL NW). 26

FIGURA 10. MAPA GEOLÓGICO DONDE SE OBSERVAN LOS PRINCIPALES DEPÓSITOS DE ROCAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO. PRINCIPALMENTE CONGLOMERADO POLIMICTICO, ARENISCA Y TOBA RIOLITICA. 27

FIGURA 11. IMÁGEN DONDE SE MUESTRA EL AFLORAMIENTO DE ZEOLITA Y TOMA DE MUESTRA PARA SU POSTERIOR ANÁLISIS. 28

FIGURA 12. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LOS PUNTOS DE MUESTREO EN EL ÁREA DE ESTUDIO, LOS CÍRCULOS VERDES INDICAN EL PRIMERO MUESTREO DONDE SE TIENE EL PRINCIPAL AFLORAMIENTO DE ZEOLITA. 29

FIGURA 13. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LA TÉCNICA DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X, DONDE LA FUENTE DE RAYOS X CHOCA CON EL ESPEJO, DESPUÉS EL RAYO INCIDE DIRECTAMENTE EN LA MUESTRA PARA POSTERIORMENTE DIFRACTARSE HACIA EL ESPEJO SECUNDARIO Y FINALMENTE AL DETECTOR. 32

FIGURA 14. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LA MICROCUENCA DEL ÁREA DE ESTUDIO CON SUS PRINCIPALES CORRIENTES SUPERFICIALES QUE SON AFLUENTE DEL ARROYO SUNIBIATE QUE APORTA SUS AGUAS POR MARGEN DERECHA AL RÍO SONORA AL NORTE DE LA LOCALIDAD DE SAN PEDRO DE URES. 37

FIGURA 15. IMAGEN DONDE SE MUESTRA QUE LA PRINCIPAL ZEOLITA QUE CONTIENE LA MUESTRA SPU2-03 CORRESPONDE CON HEULANDITA CÁLCICA CON TRAZAS DE CUARZO, MICROCLINA Y ALBITA. 38

FIGURA 16. IMAGEN DONDE SE MUESTRA QUE LA PRINCIPAL ZEOLITA QUE CONTIENE LA MUESTRA SPUP-1 CORRESPONDE CON HEULANDITA CÁLCICA CON TRAZAS DE CUARZO, MICROCLINA Y ALBITA. 39

FIGURA 17. IMAGEN DONDE SE MUESTRA QUE LA PRINCIPAL ZEOLITA QUE CONTIENE LA MUESTRA SPUP-2 CORRESPONDE CON HEULANDITA CÁLCICA CON TRAZAS DE ESTILBITA, CUARZO, CALCITA, BADELEYITA, SIDERITA Y MUSCOVITA. 40

FIGURA 18. IMAGEN DONDE SE MUESTRA QUE LA PRINCIPAL ZEOLITA QUE CONTIENE LA MUESTRA SPUP-4 CORRESPONDE CON HEULANDITA CÁLCICA CON TRAZAS DE CUARZO. 41

FIGURA 19. IMAGEN DONDE SE MUESTRA QUE LA PRINCIPAL ZEOLITA QUE CONTIENE LA MUESTRA SPUP-10 CORRESPONDE CON HEULANDITA CÁLCICA CON TRAZAS DE ANNABERGITA Y CUARZO. 42

FIGURA 20. GRÁFICA DONDE SE OBSERVA LAS MUESTRAS COLECTADAS EN CAMPO, ASÍ MISMO SE MUESTRAN LOS PORCENTAJES DE ZEOLITA EN CADA UNA DE ELLAS. SE PUEDE OBSERVAR QUE A MEDIDA QUE LA ZEOLITA HEULANDITA ES MÁS PURA, SE INCREMENTA LA CANTIDAD DE URANIO EN MG/KG. 43

FIGURA 21. GRÁFICA DONDE SE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE URANIO Y POTASIO DE LA TABLA 2. SE PUEDE OBSERVAR UNA TENDENCIA DE DISMINUCIÓN DE POTASIO A MEDIDA QUE AUMENTA EL URANIO, PERO ENTRE LOS VALORES 60 Y 80 HAY UNA ACUMULACIÓN DE VALORES DONDE LA CAPTURA DE URANIO VA CON LA CAPTURA DE POTASIO. 45

FIGURA 22. GRÁFICA DONDE SE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE URANIO Y CALCIO DE LA TABLA 3. SE PUEDE OBSERVAR COMO LAS MUESTRAS SE ENCUENTRAN DISPERSADAS Y NO SIGUEN UN PATRÓN DE ABSORCIÓN ENTRE LOS DOS ELEMENTOS.	46
FIGURA 23. GRÁFICA DONDE SE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE URANIO Y RUBIDIO DE LA TABLA 4. SE PUEDE OBSERVAR COMO EXISTE ACUMULACIÓN DE MUESTRAS COINCIDIENDO EN VALORES ENTRE RUBIDIO Y URANIO.	47
FIGURA 24. GRÁFICA DONDE SE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE URANIO Y ESTRONCIO DE LA TABLA 5. DONDE SE PUEDE OBSERVAR QUE A MEDIDA QUE AUMENTA LA ABSORCIÓN DE URANIO AUMENTA LA CANTIDAD DE ESTRONCIO.	48
FIGURA 25. GRÁFICA DONDE SE OBSERVA EL PROMEDIO DE RUBIDIO EN LAS MUESTRAS POR EL MÉTODO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, ASÍ COMO LOS PROMEDIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE, SEDIMENTOS (TAYLOR & McLENNAN 1985) Y SUELOS (BOWEN, 1979).....	49
FIGURA 26. GRÁFICA DONDE SE OBSERVA EL PROMEDIO DE ZINC EN LAS MUESTRAS POR EL MÉTODO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, ASÍ COMO LOS PROMEDIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE, SEDIMENTOS (TAYLOR & McLENNAN 1985) Y SUELOS (BOWEN, 1979).....	49
FIGURA 27. GRÁFICA DONDE SE OBSERVA EL PROMEDIO DE COBRE EN LAS MUESTRAS POR EL MÉTODO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, ASÍ COMO LOS PROMEDIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE, SEDIMENTOS (TAYLOR & McLENNAN 1985) Y SUELOS (BOWEN, 1979).....	50
FIGURA 28. GRÁFICA DONDE SE OBSERVA EL PROMEDIO DE ARSÉNICO EN LAS MUESTRAS POR EL MÉTODO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, ASÍ COMO LOS PROMEDIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE, SEDIMENTOS (TAYLOR & McLENNAN 1985) Y SUELOS (BOWEN, 1979).....	50
FIGURA 29. GRÁFICA DONDE SE OBSERVA EL PROMEDIO DE PLOMO EN LAS MUESTRAS POR EL MÉTODO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, ASÍ COMO LOS PROMEDIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE, SEDIMENTOS (TAYLOR & McLENNAN 1985) Y SUELOS (BOWEN, 1979).....	51
FIGURA 30. GRÁFICA DONDE SE OBSERVA EL PROMEDIO DE URANIO EN LAS MUESTRAS POR EL MÉTODO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, ASÍ COMO LOS PROMEDIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE, SEDIMENTOS (TAYLOR & McLENNAN 1985) Y SUELOS (BOWEN, 1979).....	51
FIGURA 31. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LA ZEOLITA CHABAZITA DEL RANCHO LA PALMA, DIVISADEROS; IMAGEN DE LA IZQUIERDA ES CON VISTA DE ELECTRONES DISPERSADOS Y LA DE LA DERECHA CON ELECTRONES SECUNDARIOS, AMBAS A 30X.	55
FIGURA 32. IMAGEN DE LA MISMA MUESTRA DONDE SE OBSERVA LA ZEOLITA CHABAZITA DEL RANCHO LA PALMA, DIVISADEROS. AMBAS IMÁGENES SON A 2000X, LA DE LA IZQUIERDA CON ELECTRONES DISPERSADOS Y LA DE LA DERECHA CON ELECTRONES SECUNDARIOS.	55
FIGURA 33. IMAGEN DONDE SE MUESTRA UN MAPEO QUÍMICO SEMI-CUANTITATIVO PARA ANALIZAR LOS ELEMENTOS MÁS REPRESENTATIVOS EN LA MUESTRA.	56
FIGURA 34. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL ESPECTRO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS PRESENTES EN LA MUESTRA OBTENIDOS POR EL MAPEO QUÍMICO.	56
FIGURA 35. IMÁGENES DONDE SE MUESTRA LA CHABAZITA DE EL RANCHO LA PALMA, DIVISADEROS DONDE SE PUEDE OBSERVAR SU HÁBITO TABULAR CARACTERÍSTICO DE ESTA VARIEDAD DE ZEOLITA EN AUMENTO A 3000X.	57
FIGURA 36. IMAGEN DONDE SE MUESTRA UN MAPEO QUÍMICO SEMI-CUANTITATIVO PARA ANALIZAR LOS ELEMENTOS MÁS REPRESENTATIVOS EN LA MUESTRA.	57
FIGURA 37. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL ESPECTRO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS PRESENTES EN LA MUESTRA OBTENIDOS POR EL MAPEO QUÍMICO.	58
FIGURA 38. IMÁGENES CON AUMENTO DE 6000X DONDE SE PUEDE APRECIAR DE MEJOR MANERA EL HÁBITO TABULAR DEL MINERAL CHABAZITA DEL GRUPO DE LAS ZEOLITAS. RANCHO LA PALMA, DIVISADEROS.	58
FIGURAS 39. IMAGEN DONDE SE OBSERVA MAPEO QUÍMICO CORRESPONDIENTE A LA MUESTRA DE CHABAZITA DONDE SE MUESTRAN LOS ELEMENTOS MÁS REPRESENTATIVOS EN LA MUESTRA.	59
FIGURA 40. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL ESPECTRO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS PRESENTES EN LA MUESTRA OBTENIDOS POR EL MAPEO QUÍMICO.	59
FIGURA 41. IMAGEN DONDE SE MUESTRA UNA SECCIÓN REALIZADA EN LA MUESTRA PARA VER LOS IMPULSOS EN EL ESPECTRO DE LA DERECHA SOBRE LOS ELEMENTOS EN ESA ÁREA SELECCIONADA.	60
FIGURA 42. IMAGEN DONDE SE MUESTRA EN SEDIMENTO LA ZEOLITA HEULANDITA DE SAN PEDRO DE URES CON ELECTRONES DISPERSADOS Y SECUNDARIOS A 200X.	60
FIGURA 43. IMAGEN DONDE SE MUESTRA EL MAPEO QUÍMICO SEMI CUANTITATIVO DE LA MUESTRA DE ZEOLITA HEULANDITA.	61

FIGURA 44. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL ESPECTRO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS PRESENTES EN LA MUESTRA DE ZEOLITA.	61
FIGURA 45. IMAGEN EN VISTA DE 2500X DONDE SE MUESTRA SU HÁBITO FIBROSO-TABULAR DEL MINERAL HEULANDITA CON ELECTRONES DISPERSADOS Y SECUNDARIOS.....	62
FIGURA 46. IMAGEN CON RESOLUCIÓN MIX DONDE SE PUEDE APRECIAR LA FORMA TABULAR-FIBROSA DEL MINERAL HEULANDITA EN UNA VISTA DE 2500X.	62
FIGURA 47. IMAGEN DONDE SE MUESTRA EL MAPEO QUÍMICO SEMI-CUANTITATIVO DE LA MUESTRA DE HEULANDITA DE SAN PEDRO DE URES.....	63
FIGURA 48. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL ESPECTRO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS QUÍMICOS PRESENTES EN LA MUESTRA DE HEULANDITA.	63
FIGURA 49. IMAGEN DONDE SE MUESTRA EL MINERAL ZEOLITA CON UNA COMBINACIÓN ENTRE SU HÁBITO TABULAR Y SU HÁBITO FIBROSO-AZUCARADO DE LA HEULANDITA DE SAN PEDRO DE URES.	64
FIGURA 50. IMAGEN DONDE SE MUESTRA EL MAPEO QUÍMICO SEMI-CUANTITATIVO DE LA MUESTRA DE HEULANDITA DE SAN PEDRO DE URES.....	64
FIGURA 51. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL ESPECTRO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS PRESENTES EN LA MUESTRA DE ZEOLITA.	65
FIGURA 52. IMÁGENES EN SEM-EDS EN LÁMINA DELGADA MUESTRA P-4.....	66
FIGURA 53. IMÁGENES EN SEM-EDS EN LÁMINA DELGADA MUESTRA P-4.....	67
FIGURA 54. IMÁGENES EN SEM-EDS EN LÁMINA DELGADA MUESTRA P-4.....	68
FIGURA 55. IMÁGENES EN SEM-EDS EN LÁMINA DELGADA MUESTRA P-1.....	69
FIGURA 56. IMÁGENES EN SEM-EDS EN LÁMINA DELGADA MUESTRA SPU-P2.....	70
FIGURA 57. IMÁGENES EN SEM-EDS EN LÁMINA DELGADA MUESTRA SPU-P2.....	71
FIGURA 58. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LA MICROCUENCA Y EL PRINCIPAL AFLORAMIENTO EN EL REPRESO “LAS CANTERAS” (CÍRCULO AZÚL). LAS PRINCIPALES CORRIENTES QUE DRENAN LA LOCALIDAD DE SAN PEDRO DE URES DE NORTE A SUR ES EL ARROYO SUNIBIATE Y DE ESTE A OESTE EL RÍO SONORA.	73
FIGURA 59. IMAGEN DONDE SE MUESTRAN LAS PRINCIPALES ZONAS DE ALTA Y BAJA ALTERACIÓN DE ZEOLITA DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO, ADEMÁS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DEL MINERAL HEULANDITA DONDE SE REALIZÓ UNA SECCIÓN COMPUESTA PARA OBTENER UN PERFIL DE LOS PRINCIPALES AFLORAMIENTOS DENTRO DE LA LOCALIDAD.....	74
FIGURA 60. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL PERFIL TOPOGRÁFICO DEL DEPÓSITO DE ZEOLITA, EN LA BASE SE ENCUENTRA UN CONGLOMERADO POLIMICTICO CON FRAGMENTOS VOLCÁNICOS Y MATRIZ ARENOSA, EN LA PARTE SUPERIOR TENEMOS LAS CAPAS DE ZEOLITA HEULANDITA Y EN LA CIMA UN CONGLOMERADO SEMI-CONSOLIDADO LEVEMENTE ZEOLITIZADO. EN LOS DIAGRAMAS CIRCULARES SE PUEDE OBSERVAR LA VARIACIÓN EN EL PORCENTAJE DE HEULANDITA Y EL CONTENIDO DE URANIO EN CADA UNA DE LAS MUESTRAS (VISTA AL NW).....	75
FIGURA 61. DIAGRAMA CIRCULAR DONDE SE OBSERVAN LOS PORCENTAJES SEMI-CUANTITATIVOS DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE CONTIENE LA MUESTRA SPU-P4.	88
FIGURA 62. DIAGRAMA CIRCULAR DONDE SE OBSERVAN LOS PORCENTAJES SEMI-CUANTITATIVOS DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE CONTIENE LA MUESTRA SPU-P7.	89
FIGURA 63. DIAGRAMA CIRCULAR DONDE SE OBSERVAN LOS PORCENTAJES SEMI-CUANTITATIVOS DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE CONTIENE LA MUESTRA SPU-P10.....	90
FIGURA 64. DIAGRAMA CIRCULAR DONDE SE OBSERVAN LOS PORCENTAJES SEMI-CUANTITATIVOS DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE CONTIENE LA MUESTRA SPU2-03.	91
FIGURA 65. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL CONGLOMERADO POLIMICTICO EN LA BASE DEL DEPÓSITO DE ZEOLITA.....	92
FIGURA 66. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL CONGLOMERADO POLIMICTICO Y EL DEPÓSITO DE ZEOLITA HEULANDITA EN AL ÁREA DE ESTUDIO.	92
FIGURA 67. IMAGEN DONDE SE OBSERVA FRANGMENTOS DE ROCA ZEOLITIZADOS POR ENCIMA DEL DEPÓSITO HEULANDITA.....	93
FIGURA 68. IMAGEN DONDE SE OBSERVA EL MINERAL ZEOLITA BASCULADO SOBRE EL ARROYO. (VISTA AL NE).....	93
FIGURA 69. IMAGEN DEL PRINCIPAL AFLORAMIENTO DONDE SE TOMARON LAS MUESTRAS DE ZEOLITA EN EL CUAL SE OBSERVA UNA ESTRATIFICACIÓN CRUZADA DENTRO DEL DEPÓSITO.....	94
FIGURA 70. IMAGEN DONDE SE OBSERVAN ESTRUCTURAS DE ARRASTRE PROVOCADOS POR ESFUERZOS DENTRO DEL DEPÓSITO DE ZEOLITA DE SAN PEDRO DE URES.	94

Lista de Tablas

TABLA 1. LÍMITES DE DETECCIÓN PARA EL EQUIPO THERMO SCIENTIFIC NITON XLt3. LAS CONCENTRACIONES SE EXPRESAN EN MG/KG.....33

TABLA 2. FIGURA DONDE SE MUESTRA LOS PORCENTAJES DE URANIO Y POTASIO DE LAS MUESTRAS TOMADAS EN CAMPO, ADEMÁS DE LOS PROMEDIOS DEL NASC Y CORTEZA SUPERIOR.....45

TABLA 3. FIGURA DONDE SE MUESTRA LOS PORCENTAJES46

TABLA 4. FIGURA DONDE SE MUESTRA LOS PORCENTAJES47

TABLA 5. FIGURA DONDE SE MUESTRA LOS PORCENTAJES DE URANIO Y ESTRONCIO DE LAS MUESTRAS TOMADAS EN CAMPO, ADEMÁS DEL PROMEDIO DEL NASC Y CORTEZA SUPERIOR.48

TABLA 6. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LOS RESULTADOS PARA CADA ELEMENTO DEL ESTÁNDAR MONTANA SOIL 2709.82

TABLA 7. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LOS RESULTADOS PARA CADA ELEMENTO DEL ESTÁNDAR MONTANA SOIL 2710.83

TABLA 8. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LOS RESULTADOS PARA CADA ELEMENTO DEL ESTÁNDAR MONTANA SOIL 2711.84

TABLA 9. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LA GEOQUÍMICA TOTAL DE 9 MUESTRAS POR LA TÉCNICA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X. EN SUBRAYADO SE OBSERVA EL PROMEDIO DE LOS ELEMENTOS MAYORES DE LAS MUESTRAS POR CADA TRES LECTURAS DEL EQUIPO.....85

TABLA 10. IMAGEN DONDE SE MUESTRA LA GEOQUÍMICA TOTAL DE 9 MUESTRAS POR LA TÉCNICA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X. EN SUBRAYADO SE OBSERVA EL PROMEDIO DE LOS ELEMENTOS MAYORES DE LAS MUESTRAS POR CADA TRES LECTURAS DEL EQUIPO.....86

TABLA 11. IMAGEN DONDE SE MUESTRA TABLA CON LOS VALORES DE LA MEDIANA DE SUELOS (BOWEN, 1979), ASÍ COMO LOS PROMEDIOS DE LA CORTEZA TERRESTRE Y SEDIMENTOS (TAYLOR & MCLENNAN, 1985), DONDE CON CADA UNO DE ESOS PROMEDIOS SE HACE UN COMPARATIVO CON LOS PROMEDIOS DE LOS VALORES OBTENIDOS POR EL ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN CAMPO. EN LA MUESTRA SPU-P7 SE PUEDE OBSERVAR COMO DISMINUYEN LOS VALORES EN ALGUNOS ELEMENTOS YA QUE LA MUESTRA NO CONTIENE ZEOLITA HEULANDITA.87

TABLA 12. IMAGEN DONDE SE OBSERVA LA FORMULA QUÍMICA, SISTEMA CRISTALINO, DENSIDAD Y PORCENTAJE (S-Q) DE LOS PRINCIPALES MINERALES QUE SE ENCUENTRAN EN LA MUESTRA SPU-P4.88

TABLA 13. IMAGEN DONDE SE OBSERVA LA FORMULA QUÍMICA, SISTEMA CRISTALINO, DENSIDAD Y PORCENTAJE (S-Q) DE LOS PRINCIPALES MINERALES QUE SE ENCUENTRAN EN LA MUESTRA SPU-P7.89

TABLA 14. IMAGEN DONDE SE OBSERVA LA FORMULA QUÍMICA, SISTEMA CRISTALINO, DENSIDAD Y PORCENTAJE (S-Q) DE LOS PRINCIPALES MINERALES QUE SE ENCUENTRAN EN LA MUESTRA SPU-P10.90

TABLA 15. IMAGEN DONDE SE OBSERVA LA FORMULA QUÍMICA, SISTEMA CRISTALINO, DENSIDAD Y PORCENTAJE (S-Q) DE LOS PRINCIPALES MINERALES QUE SE ENCUENTRAN EN LA MUESTRA SPU2-03.91

1.- Introducción

Usos de la zeolita

Existe un interés creciente en el uso de zeolitas a nivel internacional por sus diversas aplicaciones en el sector agrícola, alimenticio e industrial. Yeung et al., 2013, reportan que las zeolitas se utilizan cada vez más para modificar y mejorar la membrana de la celda de combustible para mejorar la eficiencia del sistema y la estabilidad de la membrana. Las zeolitas tienen también aplicaciones en la generación de carbones mesoporosos y los aerogeles de carbono debido a su gran área superficial, su alta porosidad y su buena interconectividad considerándose como el material ideal para electrodos y electrocatalizadores. Doula et al., 2012, reportan un experimento de laboratorio para investigar en qué medida la zeolita natural clinoptilolita es capaz de limitar la degradación ambiental causada por la eliminación incontrolada de residuos de molinos de aceite de oliva, donde se añadió clinoptilolita en varias proporciones (de 0% a 30% p / p) a muestras de suelo, para remover los elementos K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu. También se han utilizado en su gran mayoría para remover metales pesados en soluciones acuosas (Alvarado et al., 2013). Se investigó la adsorción de uranio (VI) en una zeolita natural de clinoptilolita del condado de Sweetwater, Wyoming donde la clinoptilolita puede neutralizar las soluciones ácidas y bajas de agua básica a través de su alcalinidad y las reacciones de intercambio iónico con U, reportándose que no solamente depende del pH sino también de la concentración inicial. En el mismo trabajo, se reporta que la mayor eficiencia de remoción de uranio (95.6%) se obtuvo con una concentración inicial de uranio de 5 mg / L y pH 6.0. (Camacho et al., 2010). Por sus propiedades físico-químicas excepcionales, derivadas de su estructura cristalina con amplios huecos y canales que permiten el paso de iones y moléculas variados, las zeolitas han propiciado su utilización creciente como intercambiadores iónicos (cribas moleculares), catalizadores, purificadores de agua y desechos radiactivos, agregados de alimentos para aves y ganado, agregados en fertilizantes, en cementos, en materiales de construcción, etc. (Munson et al., 1974; Ríos et al., 1978).

Adem et al. 2015, con la finalidad de remover flúor del agua, reportan el uso de una clinoptilolita natural sin tratamiento, comercialmente etiquetada Zeocat ECO (México), una roca clinoptilolita de San Luis Potosí (México), una heulandita

(verdosa) de Puebla (México) y analcima y estilbita de la formación basáltica de Hashenge, en la localidad de Hashenge, región de Tigray (Etiopía), donde la zeolita analcima retuvo hasta un 85% del fluoruro presente en una solución cuya concentración inicial de fluoruro fue de 5 mg/L para una dosis adsorbente de 100 mg/L. Estos trabajos son importantes ya que el exceso de ingestión de flúor puede causar fluorosis dental/esquelética. Adicionalmente, afecta a los dientes y al esqueleto, pero su acumulación durante un largo período de tiempo puede conducir al cáncer, la osteosclerosis y también se ha relacionado con el deterioro neurológico en los seres humanos (Adem et al., 2015). Según las OMS, la concentración aceptable de flúor en el agua potable debe estar en el rango de 0,5 a 1,5 mg/L. En México, hay concentraciones medias de flúor en las zonas urbanas varían de 1,5 a 2,8 mg/L y existen concentraciones tan altas como 7,8 mg/L en ciudades como Hermosillo, en el estado de Sonora, por lo que el uso de zeolitas en la remoción de flúor en estas regiones representa un campo de estudio a crecer. El grupo heulandita de zeolitas, son las zeolitas más abundantes en la naturaleza. Son utilizadas en aplicaciones tales como catálisis, enmienda del suelo, remediación de contaminantes y como una barrera para la migración de radionucleidos. Los organozeolitos son zeolitas naturales modificadas con surfactantes del tipo hexadeciltrimetilamonio obtenidos de la modificación de la toba zeolítica rica en clinoptilolita / heulandita que es efectiva para la eliminación de uranio (VI) a partir de soluciones acuosas. Los organozeolitos como adsorbentes son también materiales prometedores para la extracción de uranio (VI) de suelos contaminados y sistemas de aguas subterráneas. (Matijasevic et al., 2006). Bakatula et al., 2017, utilizaron una zeolita sintética de tipo clinoptinolita, con cubierta de óxido de fierro para la remoción de U (VI) y As (III) a partir de soluciones acuosas. Los resultados indican un proceso espontáneo y exotérmico y a medida que la temperatura se incrementa, disminuía la captura de U y As. Otro factor que influye en la captura del U es la presencia de iones que compiten por los sitios en la zeolita, como el Cd (2+), el Co (2+), y el Cr (3+), disminuyendo la remoción de U en un 13.8%. Trabajos similares utilizando zeolitas nanoestructuradas de origen sintético han sido propuestos para la remoción de uranio (Shakur et al. 2016; Aghadavoud et al., 2016). Sin embargo, la captura de uranio por zeolitas naturales, a partir de procesos geológicos no ha sido ampliamente documentada.

1.1 Generalidades

Las zeolitas comprenden un grupo de aluminosilicatos cristalinos e hidratados de aluminio, con cationes alcalinos y alcalino-térreos, y con una ordenación tridimensional (Figura 1) donde predomina una estructura abierta que les aporta gran capacidad para incorporar y ceder agua además de cationes. Constituyen el grupo mineral más variado y extenso de los que forman la corteza terrestre (Bosch et al., 1997) ;(Costafreda 2011).

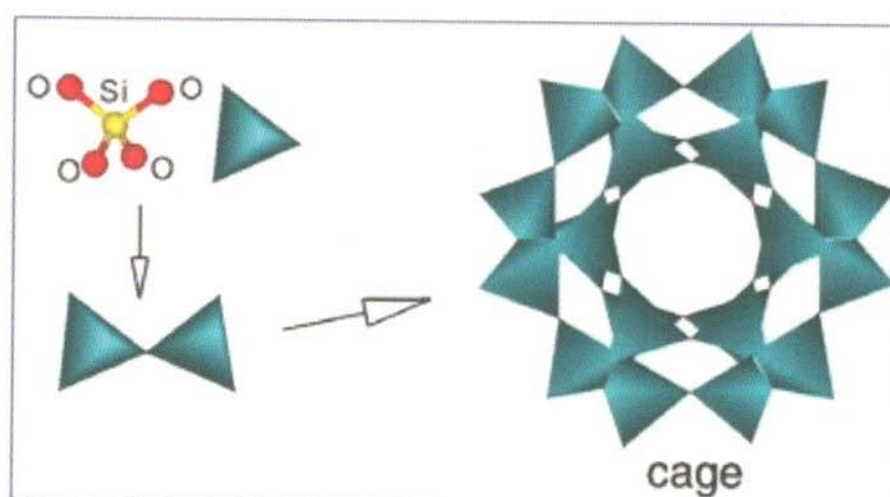


Figura 1. Unidad estructural básica de una zeolita, mostrando la disposición de los átomos de oxígeno y de silicio en el tetraedro fundamental, así como la estructura compleja formada por la unión de varios tetraedros. (Costafreda 2011).

- Fórmula general de las zeolitas puede escribirse como:



W= Na, Ca (K, Ba, Sr, menos)

Z= Si+Al (Si:Al nunca supera la proporción 1:1)

La cantidad de agua (s) es variable y la relación (Si+Al): O es siempre 1:2.

1.2. Propiedades físicas y químicas

Adsorción de las zeolitas

Los canales y cavidades de una zeolita están normalmente llenos de moléculas de agua, que forman esferas de hidratación alrededor de los cationes de intercambio, al calentar a 350-400°C durante varias horas, las zeolitas pierden agua, los canales quedan vacíos y son capaces de adsorber cationes o radicales del tamaño adecuado. Las moléculas muy grandes pasan alrededor de la partícula, y no son adsorbidas (efecto tamiz molecular) la superficie de adsorción puede llegar a cientos de metros cuadrados por gramo ya que algunas zeolitas ganan hasta un 30% de su peso seco, adsorbiendo gases.

La tendencia a la microporosidad y las características estructurales de estos materiales, permite la transferencia de materia entre el espacio intracrystalino y el medio circundante; esta transferencia está condicionada por el diámetro de los poros, por lo que sólo podrán ingresar o salir del espacio intracrystalino aquellas moléculas cuyas dimensiones sean inferiores a un cierto valor crítico, el cual varía de una zeolita a otra (Demuth et al., 2000; Costafreda 2011).

1.3. Génesis

Opción 1)

Las zeolitas sedimentarias proceden de transformación de cenizas volcánicas de grano fino, arrastradas por el viento desde el volcán en erupción y depositadas en la tierra, en lagos salinos someros o en costas marinas próximas.

Las cenizas vítreas reaccionan con el agua salina circundante y se transforman en cristales micrométricos de zeolitas, mediante mecanismos de disolución-precipitación. Generalmente, todas las partículas son de tamaño micra, pero algunos granos pueden ser milimétricos.

Los minerales paragenéticos más comunes son: vidrio volcánico, cuarzo, feldespato potásico, montmorillonita, calcita, yeso y tridimita-cristobalita. (Ming et al., 1993).

Las rocas zeolíticas suelen ser ligeras, suaves y con densidades entre 1,8 y 2,2 g/cm³.

Las rocas zeolíticas normalmente contienen entre un 50 y un 95% de una sola especie. A veces, varias zeolitas pueden coexistir. (Costafreda 2011).

Opción 2)

Se han formado yacimientos de zeolitas por alteración de potentes series de piroclastos a causa de la acción de los fluidos meteóricos que percolan en ellos. En este caso aparece una zonación vertical muy marcada de silicatos autógenos. (Utada 1980) proponen que la formación de estos depósitos es consecuencia de la reacción entre el vidrio volcánico y el nivel freático, compuesto por agua de origen meteórico. (Gottardi 1989) describen estos depósitos como el resultado de la percolación lenta de agua meteórica a través de capas de tobas que, a medida que adquiere profundidad, el agua se vuelve más alcalina y salina, subiendo su pH. Se produce así una variación zonal de las características químicas del agua que reacciona con la roca encajonante, lo cual se traduce en la zonación vertical de los minerales producto de esta reacción. De este modo, en la parte superior el vidrio se altera a arcilla; bajo este nivel aparecen las zeolitas (clinoptilolita, chabazita y phillipsita). A más profundidad, se desarrolla la analcima, y en el nivel más bajo cristalizan feldespatos alcalinos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Caracterizar el mineral zeolita del depósito de San Pedro de Ures, para evaluar su posible toxicidad.

2.2. Objetivos Particulares

- Caracterizar los depósitos de zeolitas de San Pedro de Ures.
- Determinar la geoquímica de las zeolitas de San Pedro de Ures.
- Utilizar la técnica DRX y SEM para identificar la zeolita en afloramiento.
- Identificar las variaciones de zeolitas y su relación con la geoquímica.

3. Antecedentes

Toxicidad de zeolitas: Erionita

Se ha reportado escasa presencia de zeolita erionita hasta el momento en los depósitos volcánicos italianos (Passaglia et al., 1974; Passaglia et al., 1995), pero los procesos comunes y fuertes de zeolitización de las tobas de Viterbo, Italia (Figura 2), podrían sugerir la presencia local de tales minerales peligrosos mezclados con otros comercialmente explotados (Cattaneo et al., 2010).

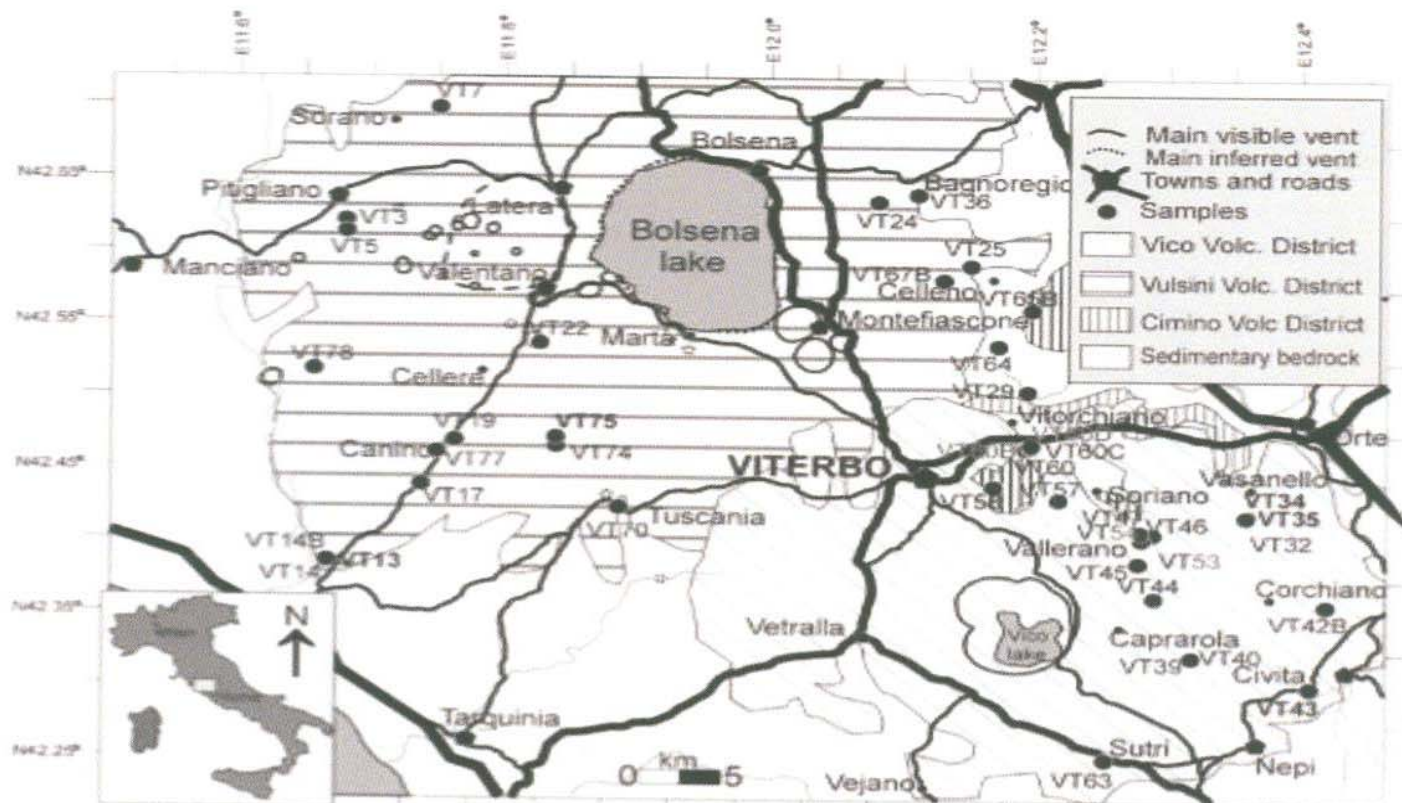


Figura 2. Localización geográfica y geológica del área de estudio. Los puntos negros etiquetados se refieren a las 41 muestras de campo analizadas. (Cattaneo et al., 2010).

La exposición a las fibras de Erionita puede causar efectos adversos para la salud idénticos a los del amianto, incluyendo el mesotelioma (Dogan et al., 2008), que es un cáncer raro que surge de las células mesoteliales de la pleura, pericardio, peritoneo. La relación causal entre las exposiciones a Erionita y tumores mesoteliales se informó inicialmente en algunas aldeas de Anatolia y se verificó a partir de estudios mineralógicos y análisis de la carga de la fibra pulmonar (Sebastien et al., 1981); (Cattaneo et al., 2010).

La epidemia de mesotelioma maligno en Cappadocia, una región de Anatolia Central en Turquía, se describió por primera vez en 1978 en las aldeas de Karain, Tuzkoy y Sarihidir. Posteriormente, a través de la mineralogía y el análisis del contenido pulmonar se demostró que el mesotelioma estaba asociado con la exposición a la erionita, una zeolita con propiedades físicas similares al amianto

(asbesto). Donde en estudios en animales mostraron que la erionita era 500-800 veces más tumorigénica que el amianto crisotilo y 200 veces más tumorigénica que el amianto crocidolita. (Carbone *et al.*, 2011).

Debido a estos estudios se pensó que la exposición a erionita podría producirse en los Estados Unidos debido al aumento del desarrollo urbano, ya que, las formaciones geológicas que contienen erionita en las montañas de North Killdeer en el condado de Dunn, North Dakota se estaban utilizando desde la década de 1980 para producir grava. Así se determinó que en las últimas dos a tres décadas, más de 300 millas de carreteras, incluyendo 32 millas de rutas de autobuses escolares, estacionamientos, juegos infantiles y campos de béisbol fueron pavimentados con erionita. Se realizó muestreo de aire durante las actividades que afectan a la grava como conducir, rastrillar y barrer, y se encontró que cuando la grava que contiene erionita se altera, las fibras de erionita se vuelven aerotransportadas y pueden entrar en la zona de respiración personal. (Carbone *et al.*, 2011).

Otra localidad donde también se realizaron mediciones es Kandovan, Irán donde los residentes estaban llevando a cabo una serie de actividades que demostraron altos patrones de exposición intermitentes tales como tallar las paredes, barrer y tendiendo las tiendas de verduras y animales mantenidos en el hogar (donde los materiales zeolíticos se usan a menudo como desecantes y conservantes). Estas actividades en Kandovan y las otras "viviendas de las cuevas" (Figura 3 y 4) también pondrían en peligro a los habitantes. La erionita puede no ser la única fibra mineral que produce mesotelioma. No hay ninguna razón para exonerar a las otras zeolitas fibrosas como mordenita y phillipsita, entre posiblemente otros (Ilgren 2008). Sin embargo, no se cuenta con ninguna base epidemiológica para hacerlo y muy pocos estudios en animales que han probado mordenita no son convincentes y contributivos (Tátrai *et al.*, 1992); (Adamis *et al.*, 2000).

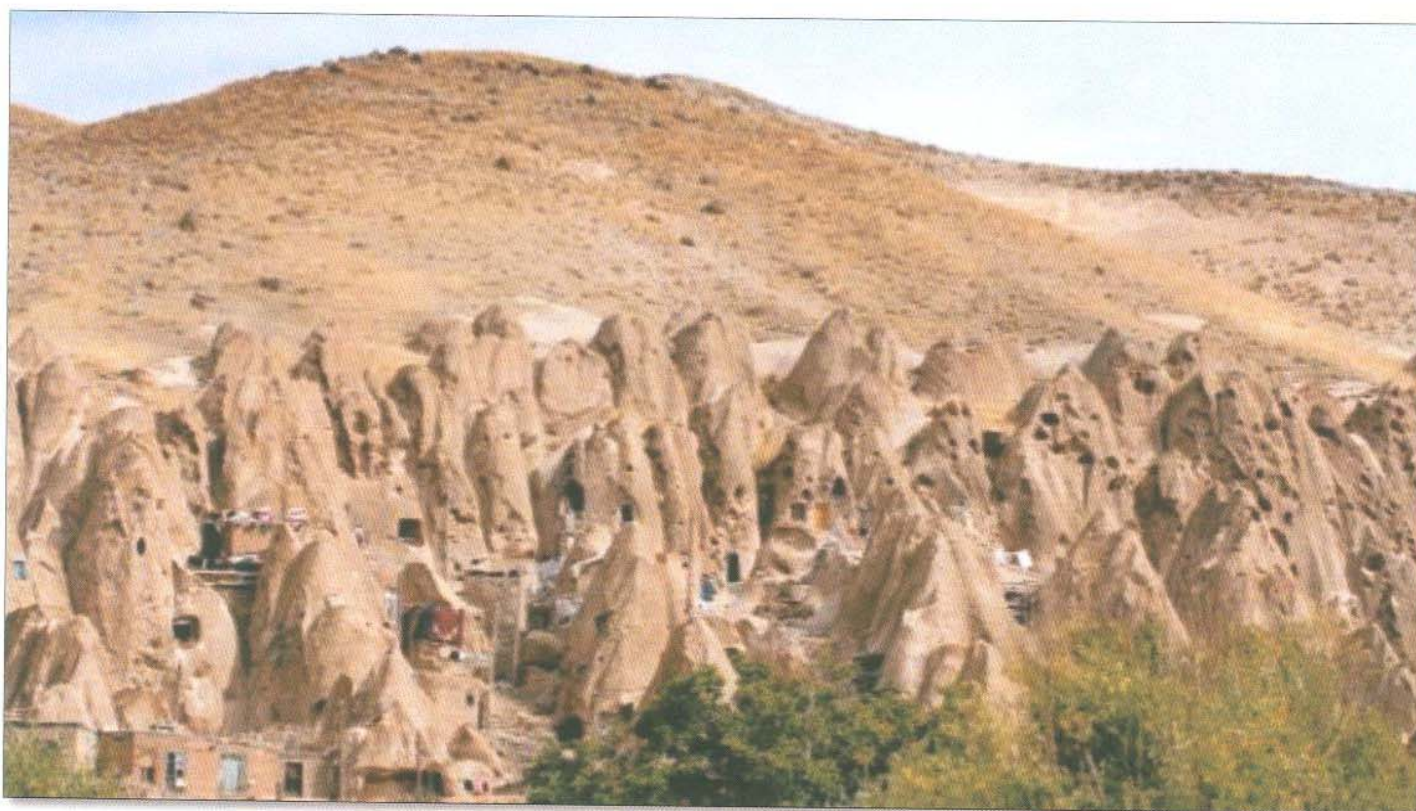


Figura 3. Poblado de Kandovan, Irán. (Ilgren et al., 2015).

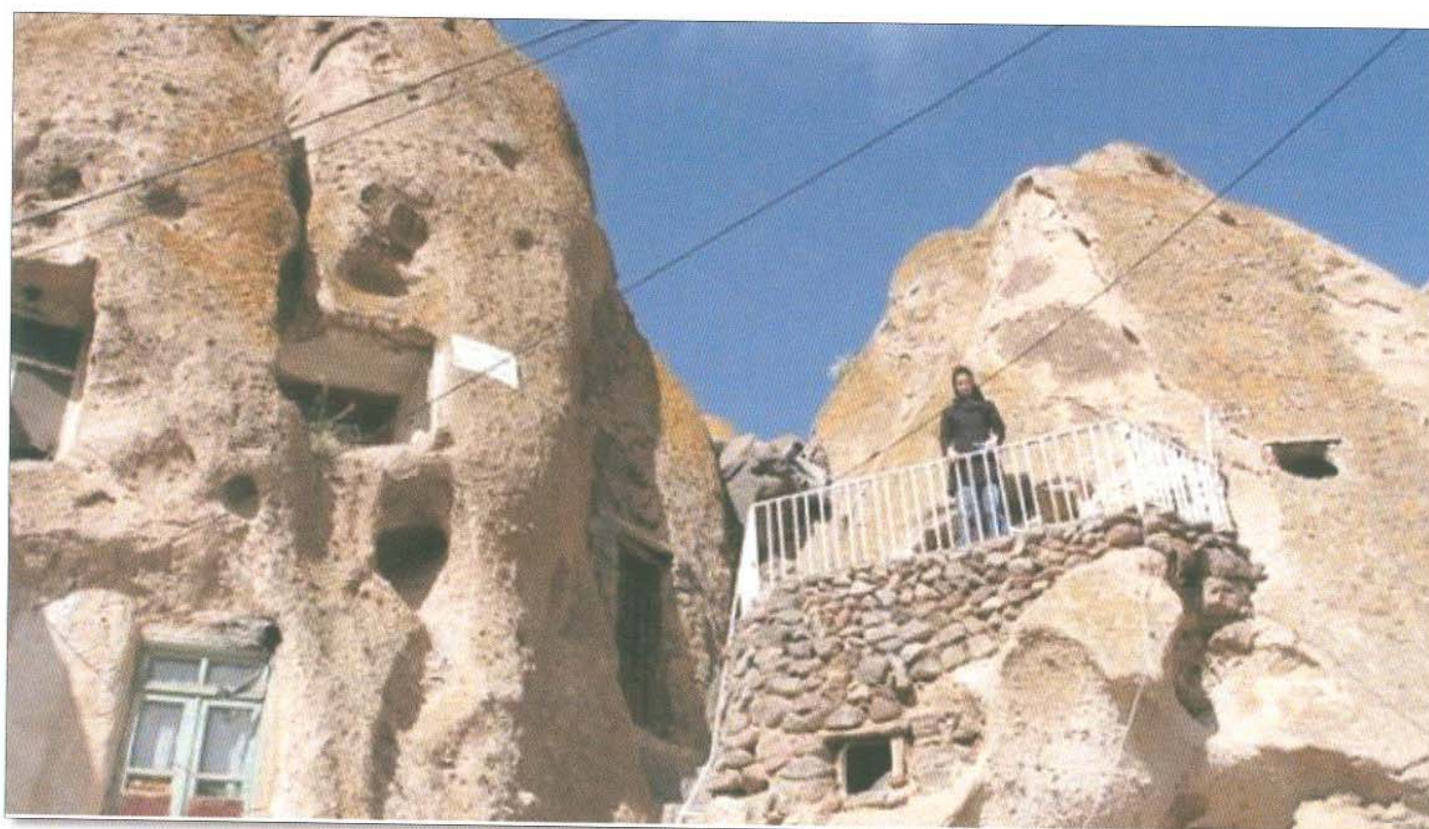


Figura 4. Casas en cuevas de ceniza en el poblado de Kandovan, Irán. (Ilgren et al., 2015).

A nivel nacional se han realizado investigaciones sobre zeolitas por sus diversas aplicaciones en el uso industrial, agrícola, doméstico, pero también sus efectos sobre la salud ya que las poblaciones cerca de los depósitos presentan distintos tipos de enfermedades respiratorias. Uno de ellos se estudió en el área Provincia de la Mesa Central, México. Se ubica al oeste de la ciudad de Aguascalientes y al sur de Calvillo, Zacatecas, e incluye las ciudades de Jalpa y Nochixtlán. Se

presenta la ocurrencia, mineralogía y proceso de formación de CaK-clinoptilolita, KNa-chabazita, KNa-heulandita, KNa-erionita y Na-phillipsita en rocas piroclásticas. La litología dominante es el Oligoceno-Mioceno tobas riolíticas y riolita-ignimbritas asociados con la actividad volcánica de la Sierra Madre Occidental. El área estudiada es conocida por una alta incidencia de enfermedades pulmonares (Reyes-Veyna et al., 2007). El interés del área está en el origen de las zeolitas ricas en álcalis, contribuyen al conocimiento de los minerales, su ocurrencia en México, posibles efectos perjudiciales para la salud y eventual interés tecnológico. Las tobas de Jalpa contienen los minerales peligrosos para la salud cristobalita-tridimita, tridimita, SiO₂-vidrio, sílice amorfa y criptocristalino, los vidrios silíceos y clinoptilolita de efectos sobre la salud no están bien definidos. Las tobas de Nochixtlán contienen erionita de efectos dañinos para la salud conocidos y heulandita, chabazita y phillipsita potencialmente dañinos. El alto contenido en álcalis de las tobas podría impedir su aplicación en la práctica agrícola y la asociación de cuarzo debería resultar inconveniente para su uso en materias primas para animales. (de Pablo et al., 2014).

De esta manera la exposición ambiental a las fibras de erionita, como mineral, está cobrando importancia en todo el mundo sobre el potencial carcinogénico del medio ambiente y exposiciones ocupacionales. La erionita ha sido reconocido por la Agencia Internacional de Investigación para el Cáncer (IARC), como un carcinógeno desde 1987, y es el mineral más carcinogénico clasificado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (IARC, 2012). Alrededor del 80,5% de los casos de mesotelioma en México están claramente asociadas con exposición al amianto, mientras que el 19,5% restante de origen desconocido (Aguilar-Madrid et al., 2010). En el pueblo de Tierra Blanca de Abajo, población de 450 habitantes, ubicada a 10 km de San Miguel de Allende en el Estado de Guanajuato (Figura 5), se diagnosticó alta incidencia de cáncer de pulmón (alrededor de 4 Muertes / 1.000 habitantes) y está ocurriendo mesotelioma maligno (Alrededor de 1 fallecimiento / 1.000 habitantes) (Ortega-Guerrero et al., 2012). También se analizó para nueve de los grupos de cáncer pulmonar Agentes enumerados por el IARC (asbesto, arsénico, Cadmio, cromo, erionita, níquel, polvo de cuarzo y cristobalita). (Ortega-Guerrero et al., 2013).

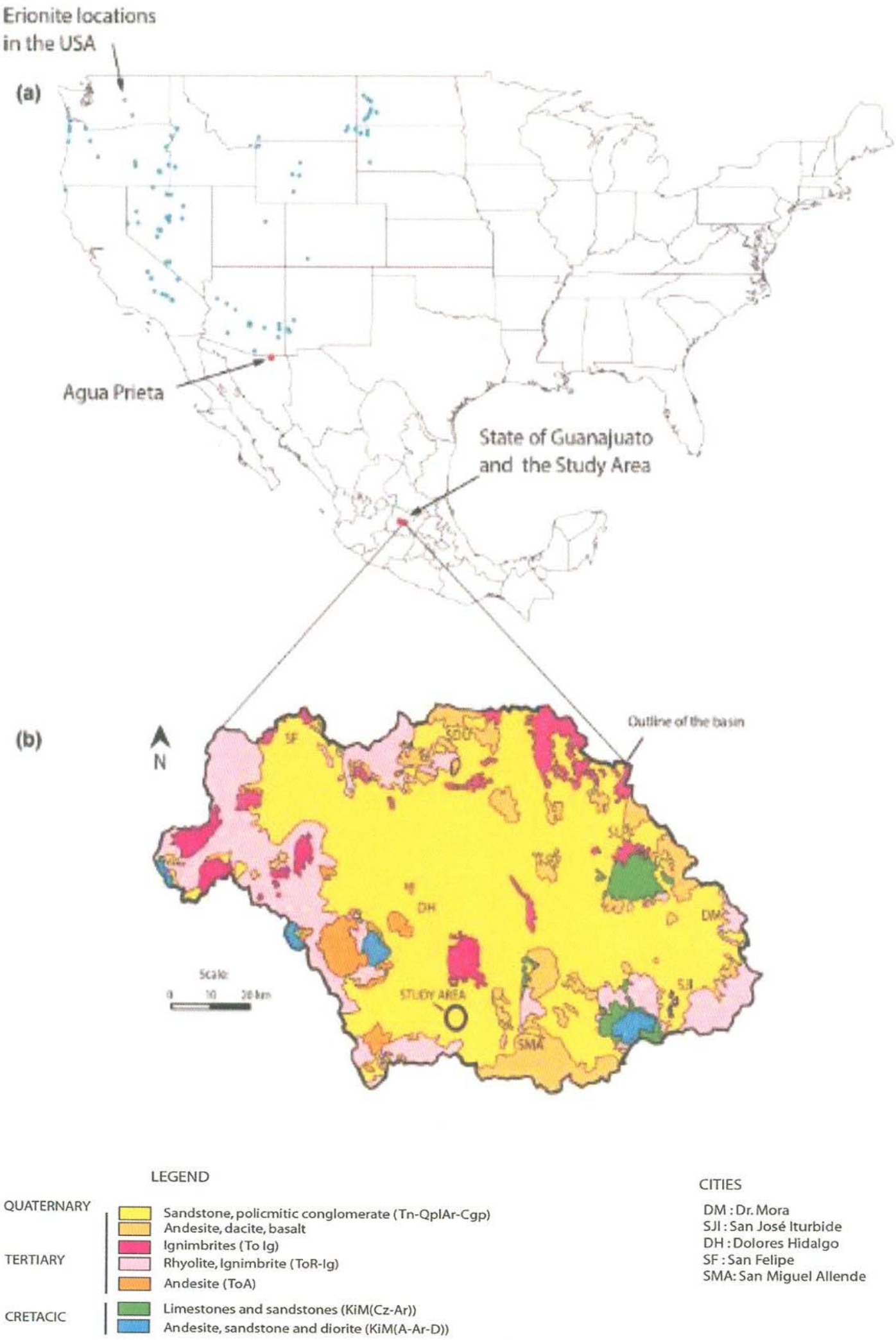


Figura 5. Distribución del mineral erionita en Estados Unidos y México. (Ortega-Guerrero et al., 2013).

Cerca del estado de Guanajuato (Ilgren et al., 2008) reportan un estudio de reconocimiento de los efectos potenciales para la salud de la exposición a zeolitas fibrosas, en el pueblo Los Sabinos, que está situado en el Valle de Jalpa en la parte sur del estado de Zacatecas (Figura 6), donde se descubrió un grupo de mesotelioma en el que se presume que las zeolitas fibrosas desempeñaron un papel importante en su causalidad. Sin embargo, la ausencia de monitoreo del aire y el número limitado de muestras tomadas de la aldea también sugieren que se deben realizar estudios adicionales para confirmar definitivamente la causa del grupo mesotelioma observado. Las poblaciones de las ciudades afectadas son también extremadamente pequeñas, sumado a la extrema rareza de los tumores mesoteliales la distribución del sexo (cuatro mujeres y seis hombres) es también sugerente de un origen no ocupacional. Los mesoteliomas son marcadores de la exposición a la fibra mineral tóxica donde se dice que muchas personas tenían "agua en los pulmones" en Los Sabinos y en varios pueblos cercanos (El Caracol, Loma Larga y El Rodeo). En El Rodeo, al menos 30 personas murieron por este problema, que se atribuyó localmente a la práctica generalizada de rociar árboles frutales con el pesticida FULIDOL 72 que se había llevado a cabo durante muchos años.

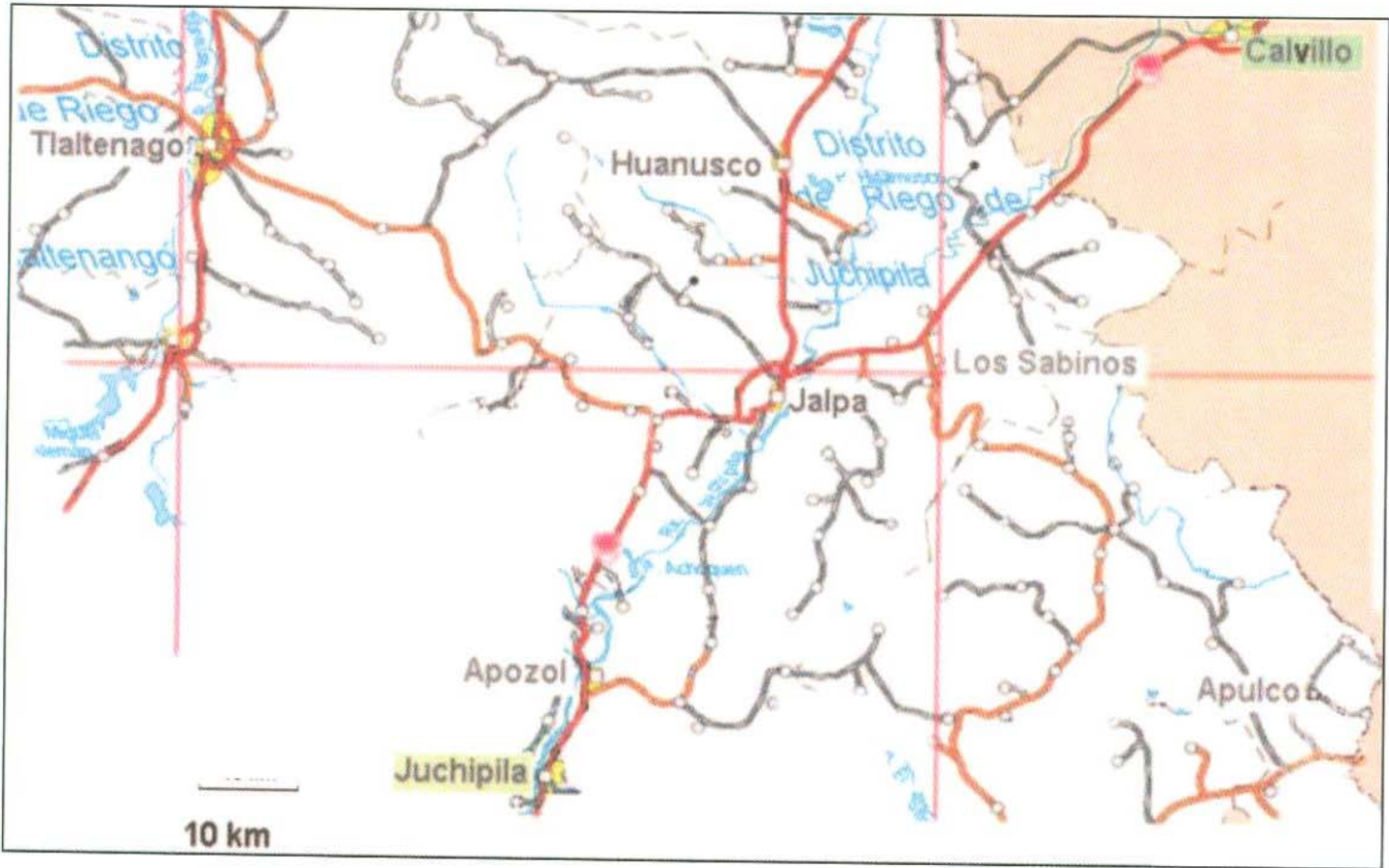


Figura 6. Mapa dónde se muestra el valle desde la localidad de Juchipila hasta Calvillo. (Ilgren et al 2008).

Ocurrencia de zeolitas en el noroeste de México

Los depósitos de potencial económico e interés de zeolita ocurren en los sedimentos continentales relacionados con la cuenca a mediados del Terciario y el tectonismo de Basin & Range. En el centro de Sonora, se distinguen dos secuencias superpuestas de sedimentos en base a su litología y estratigrafía. Se les conoce como la Formación Báucarit (King, 1939). La secuencia inferior, edad Mioceno y 300 a 400 m de espesor, consta principalmente de areniscas y conglomerados. La superior, de grosor variable, consiste en arcillas. Las zeolitas se producen en ambas secuencias como productos de alteración del vidrio volcánico en cuerpos de toba riolítica blanca intercalada. Se estudiaron afloramientos de zeolitas de Rio Batepito (erionita), Tetuachi y San Pedro de Ures (grupo heulandita), Divisaderos (chabazita). Se agruparon en términos de asociación mineral, propiedades físicas (porosidad, comportamiento térmico) y características químicas (elementos principales y traza para cristales individuales y rocas volumétricas). (Cochemé et al., 1996). La ocurrencia en Sonora de las zeolitas de interés con potencial económico, se encuentran en dos tipos de depósitos: areniscas cementadas con heulandita y zeolitas procedentes de tobas volcánicas intercaladas en la pila sedimentaria. En areniscas la heulandita se encuentra hasta el 40% del volumen de la roca, haciéndola adecuada para su uso como piedra de dimensión. Mientras que de las tobas la zeolita proviene de la alteración del vidrio volcánico y son más adecuadas para fines económicos, se encuentran intercaladas en los sedimentos superiores, ya que no están profundamente enterradas y contienen un mayor espectro de diferentes especies, principalmente zeolitas del grupo heulandita, chabazita y erionita.

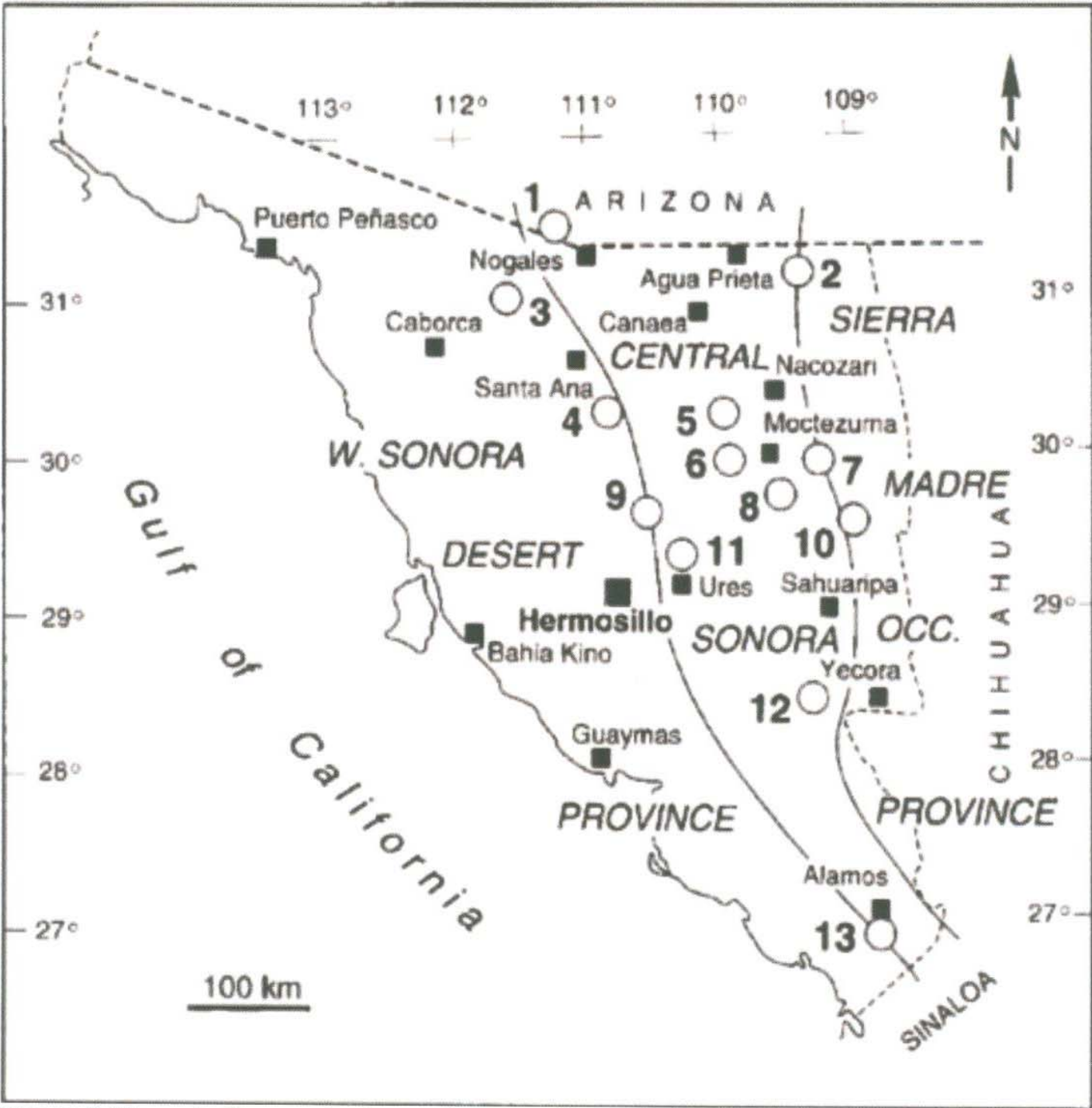


Figura 7. Mapa de Sonora donde se observan diferentes localidades con depósitos de zeolita. (Cochéme et al., 1996).

En el estado de Sonora se encuentran 3 áreas donde se han estudiado los principales depósitos de zeolita: Provincia Sierra Madre Occidental, Sonora Central y Provincia oeste del Desierto de Sonora (Fig. 7), donde algunas de ellas se encuentran dentro de la Formación Báucarit (King, 1939). Las principales localidades donde se encuentran los afloramientos son: 1) Nogales; 2) Agua Prieta; 3) Tubutama; 4) Magdalena; 5) Tetuachi; 6) Mazocahui; 7) Huásabas; 8) Rancho Las Palmas, Divisaderos; 9) El Cajón, Rayón; 10) El Sauz, Nácori Chico; 11) San Pedro de Ures; 12) Tepoca; 13) Los Mezcales, Álamos.

Ríos et al., 1978, Realizaron un estudio en la localidad de San Pedro de Ures para la Comisión del Fomento Minero, donde determinaron que el depósito correspondía a una toba híbrida zeolitizada encajonada por una arenisca tobácea zeolitizada. Caracterizaron el mineral zeolita como clinoptilolita-heulandita ya que consultaron con varios autores y no pudieron determinar si correspondía a un grupo o al otro. En base a los estudios mineralógicos y texturales realizados en microscopio petrográfico, DXR y SEM se llegó a la conclusión que la zeolita se originó por reemplazamiento de vidrio volcánico desarrollado a través de bordes y fracturas de los fragmentos. Además, agregaron que por las características texturales, estructurales, petrográficos que encajonan al depósito llegaron a la conclusión que el material primario del que se originó el mineral fue depositado en un ambiente lacustre de agua dulce y lo refuerzan con el tipo de zeolita que caracterizaron y su zoneamiento mineralógico vertical.

Además agregan que por su localización geológica, composición mineralógica y origen, se pueden clasificar en los siguientes grupos (Mumpton 1976):

- a) Depósitos formados de material volcánico en sistemas “cerrados” de lagos salinos.
- b) Depósitos formados en sistemas “abiertos” en lagos de agua dulce o subterránea.
- c) Depósitos formados en ambientes marinos.
- d) Depósitos formados por metamorfismo de sepultamiento de bajo grado.
- e) Depósitos formados por actividad hidrotermal o de manantiales termales.
- f) Depósitos formados de restos volcánicos o minerales y/o minerales arcillosos en suelos alcalinos.
- g) Depósitos formados sin evidencias directas de precursores volcánicos.

4. Área de Estudio

4.1 Localización y Vías de acceso

Este estudio se llevó acabo en la localidad de San Pedro de Ures, Sonora. A continuación, se describe la localización y vías de acceso de la localidad.

Represo Las Canteras

El depósito se localiza en el Ejido de San Pedro, Municipio de Ures, estado de Sonora, a 15 km aproximadamente. Se encuentra delimitado bajo las coordenadas UTM 3263284 Latitud Norte, 563200 de Longitud Oeste y 3260450 Latitud Norte y 566862 (Fig. 8), a una altitud aproximada de 300 metros sobre el nivel del mar.

La principal vía de acceso es la carretera estatal Ures-Mazocahui, donde en el km. 70.2 se encuentra una brecha hacia el norte de 7.0 km de longitud que conduce al yacimiento. Ahí es donde se encuentran los afloramientos más importantes del mineral zeolita (Fig.9).

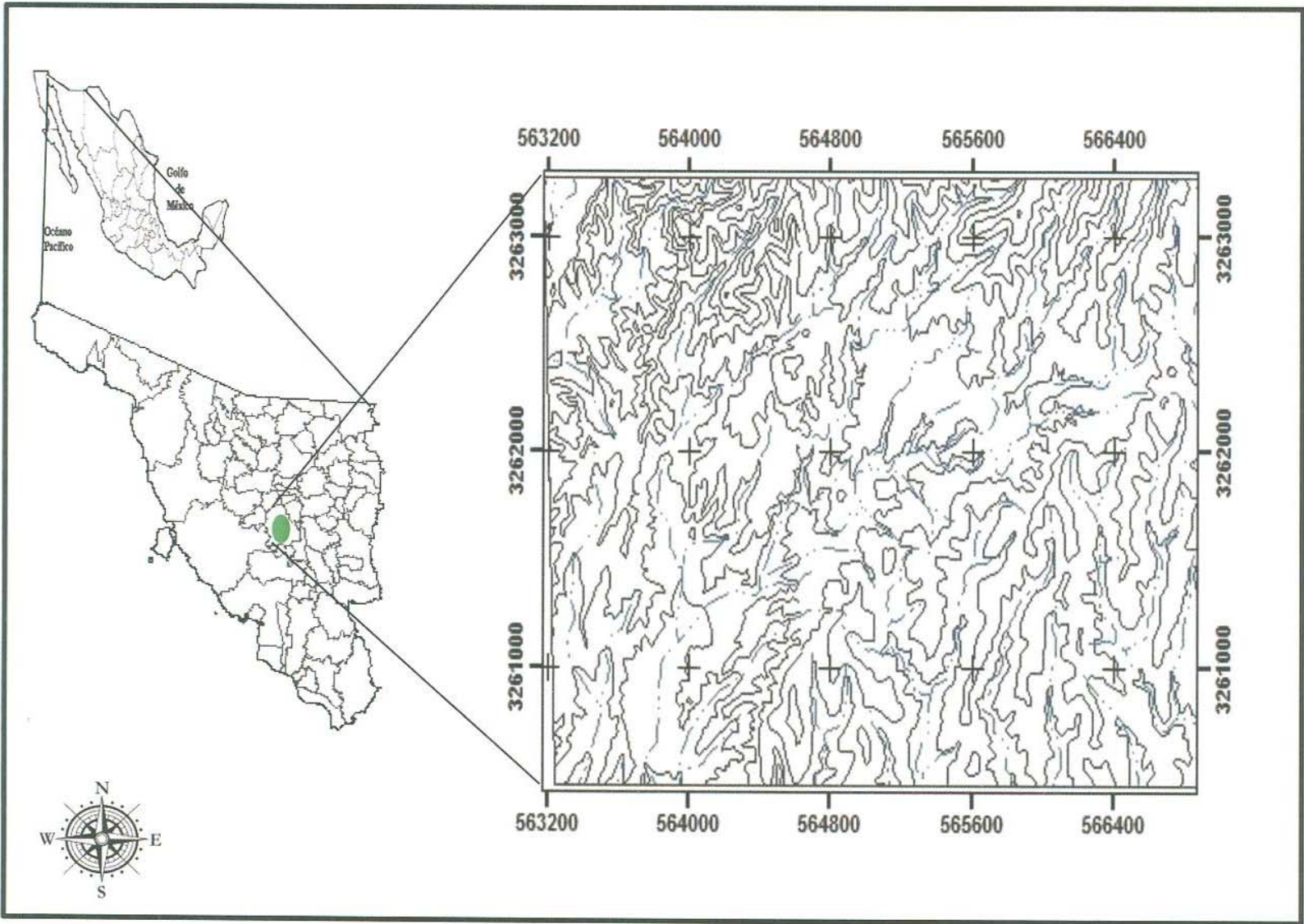


Figura 8. Localización y principales vías de acceso en el área de estudio del ejido de San Pedro de Ures, a 15 km al NE del municipio de Ures.

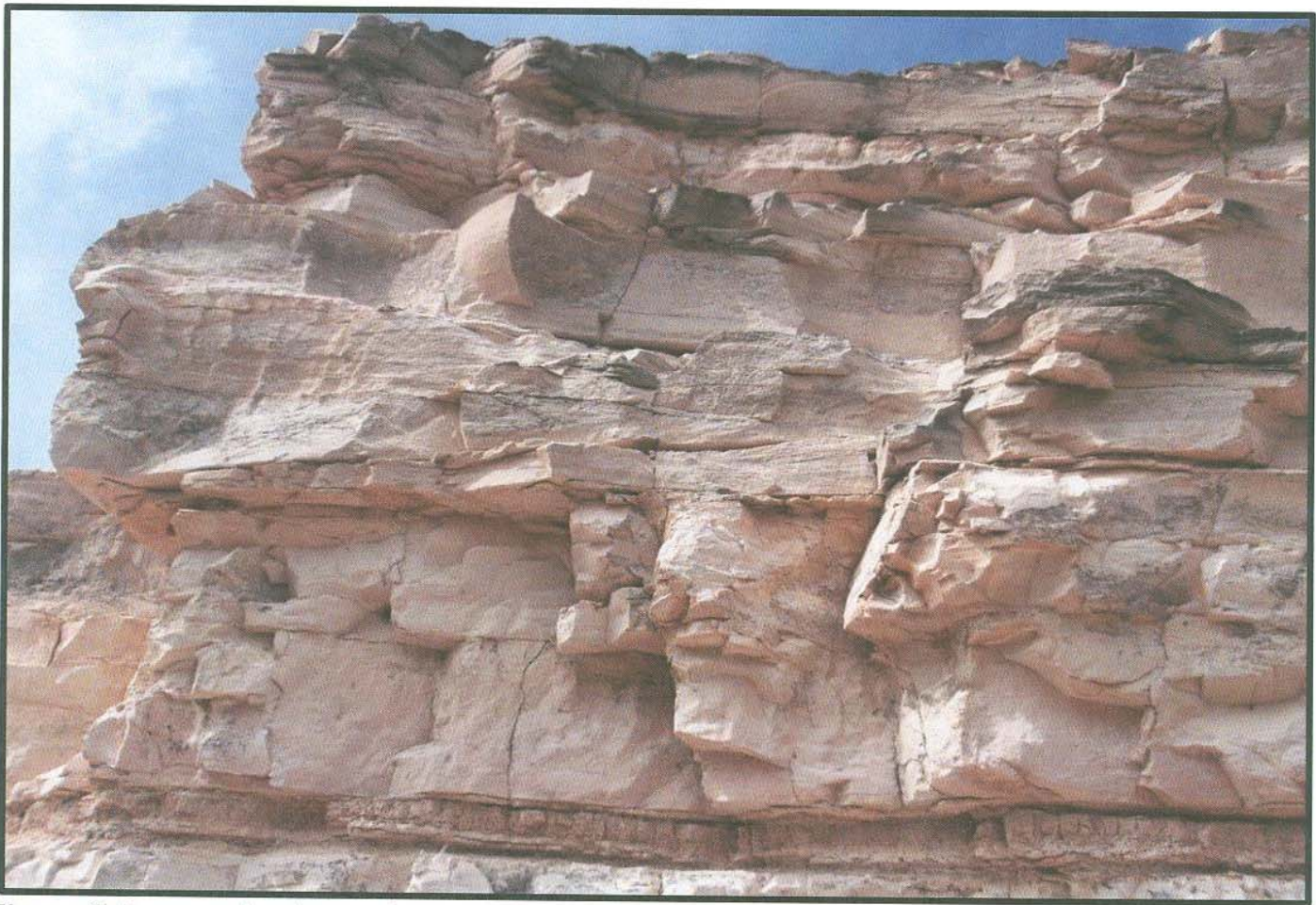


Figura 9. Imagen donde se observa uno de los principales afloramientos de zeolita en la localidad de San Pedro de Ures (Vista al NW).

5. Metodología

5.1. Descripción de unidades litológicas

En campo se realizaron secciones a lo largo de los principales afloramientos de zeolita donde se llevó a cabo el levantamiento cartográfico de las unidades geológicas presentes en el área de estudio.

En la porción oeste del área de estudio afloran rocas del Mioceno Medio, está representado por dos unidades compuestas por conglomerados polimícticos, areniscas y riolitas, que afloran discordantemente donde ambas constituyen la Formación Báucarit (King, 1939). Dentro del área de estudio se encuentran depósitos de talud y terrazas, constituidos por conglomerados y gravas de edad Pleistoceno, así como gravas y arenas que rellenan los valles del centro y este pertenecientes a la cuenca de Ures; limos-arenas y aluvión del Holoceno afloran en los márgenes de los principales ríos y arroyos (Figura 10).

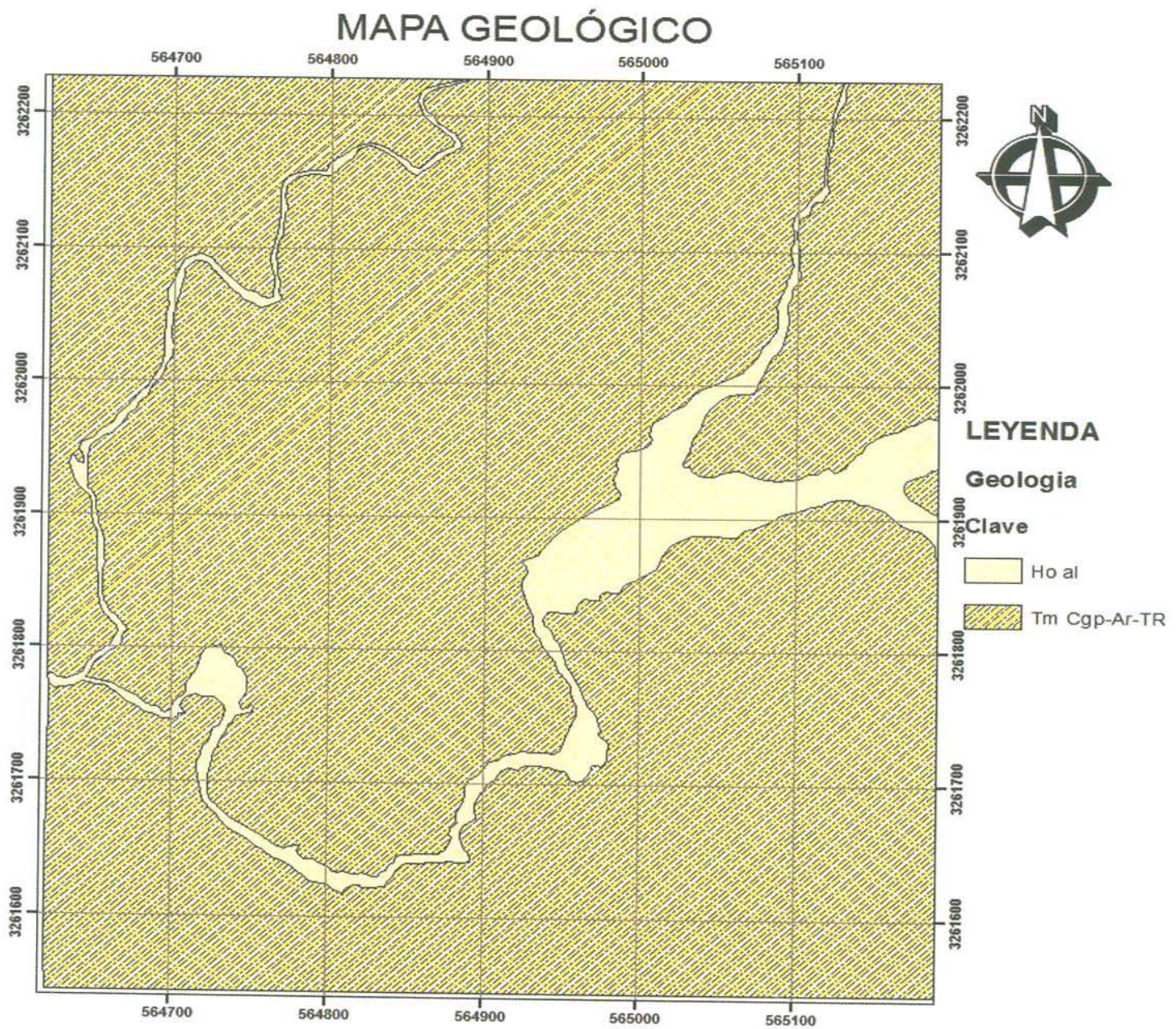


Figura 10. Mapa geológico donde se observan los principales depósitos de rocas en el área de estudio. Principalmente conglomerado polimictico, arenisca y toba riolitica.

5.2 Muestreo

Para el levantamiento de muestras se realizó un caminamiento a lo largo de las principales corrientes donde afloraba el mineral y poder tomar las muestras, además se utilizó brújula, cinta, Pica y GPS en cada estación para medir el rumbo y echado de las capas donde se encuentra el mineral a estudiar e interpretar la manera en la que se depositó en el afloramiento.

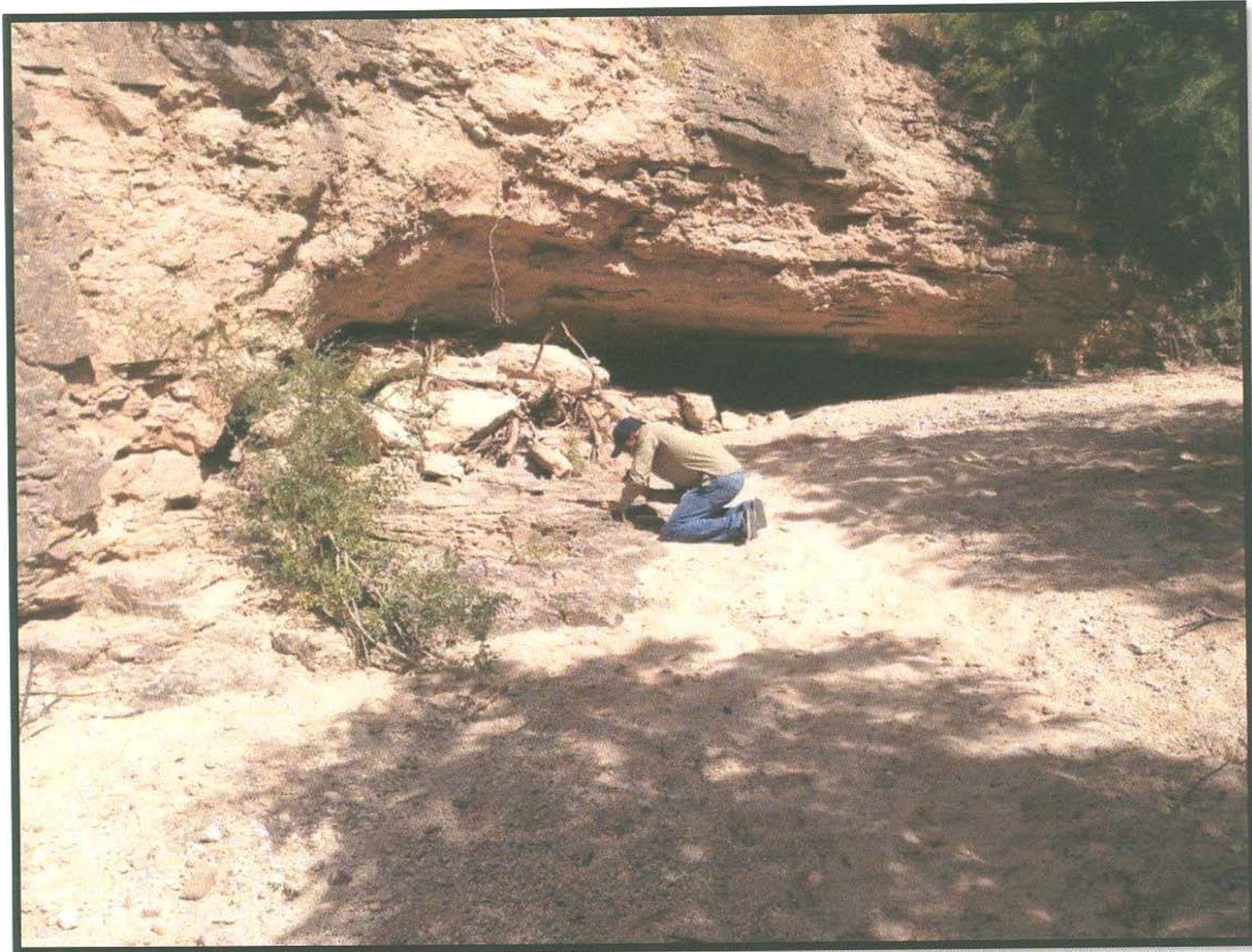


Figura 11. Imágen donde se muestra el afloramiento de zeolita y toma de muestra para su posterior análisis.

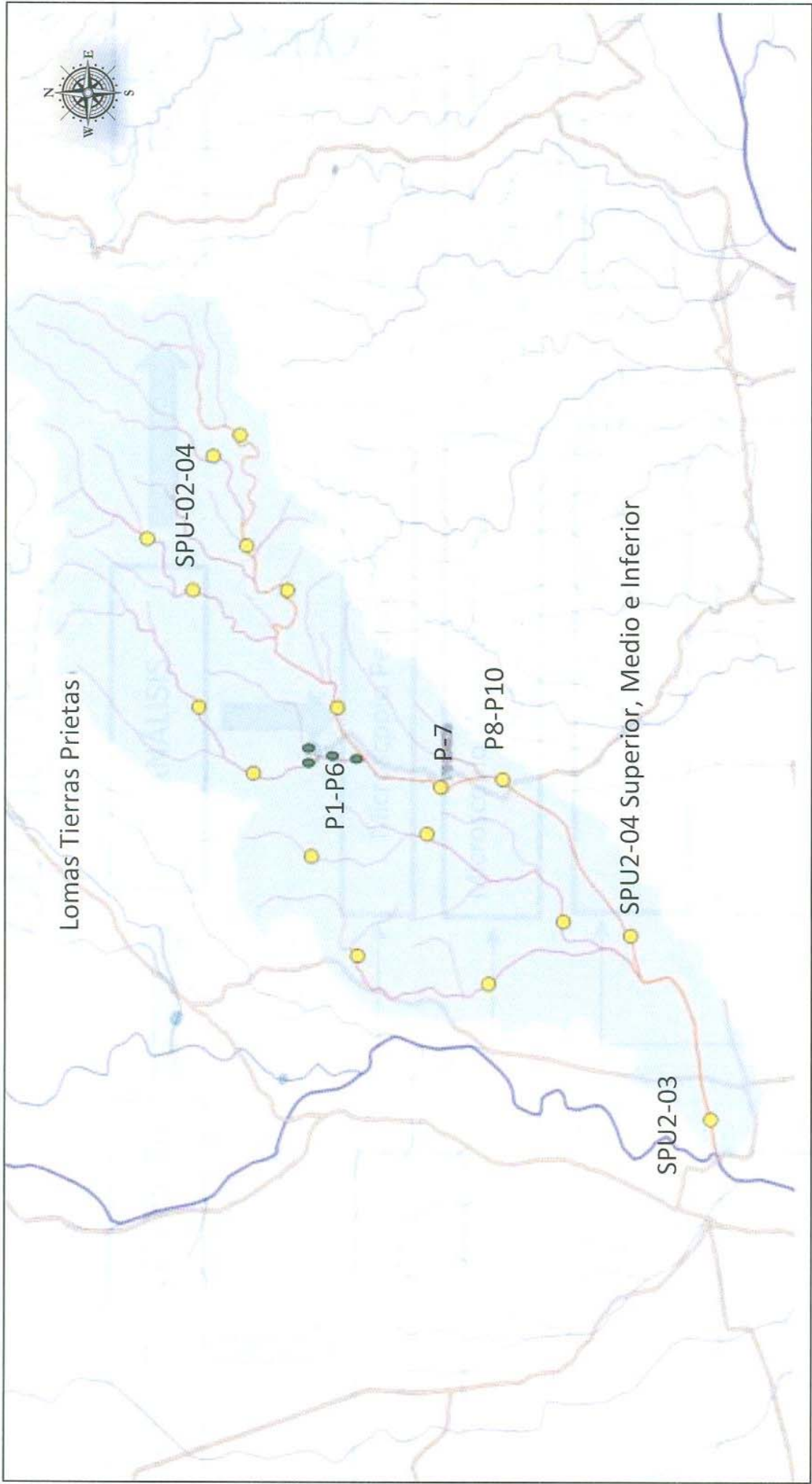


Figura 12. Imagen donde se muestra los puntos de muestreo en el área de estudio, Los círculos verdes indican el primero muestreo donde se tiene el principal afloramiento de zeolita.

5.4. Análisis

5.4.1 Difracción de Rayos X



Las muestras del mineral zeolita se analizaron por Difracción de Rayos X (DRX) en polvo utilizando un difractómetro Bruker D8 Advance en el Laboratorio de Geología. Las muestras del mineral se compactaron sobre un soporte de doble capa. La energía aplicada al tubo de rayos x fue de 40 kV / 35 mA. El equipo funciona con fuente de radiación $\text{Cu } \lambda (\text{K}\alpha 1) = 1.5406\text{\AA}$. La recolección del patrón DRX se basó en un intervalo 2θ de 8° - 38° y un tamaño de paso de $0,02^\circ$ con un tiempo de conteo de 3 seg por paso. La interpretación de los datos se determinó utilizando el programa Difracc.eva Plus.

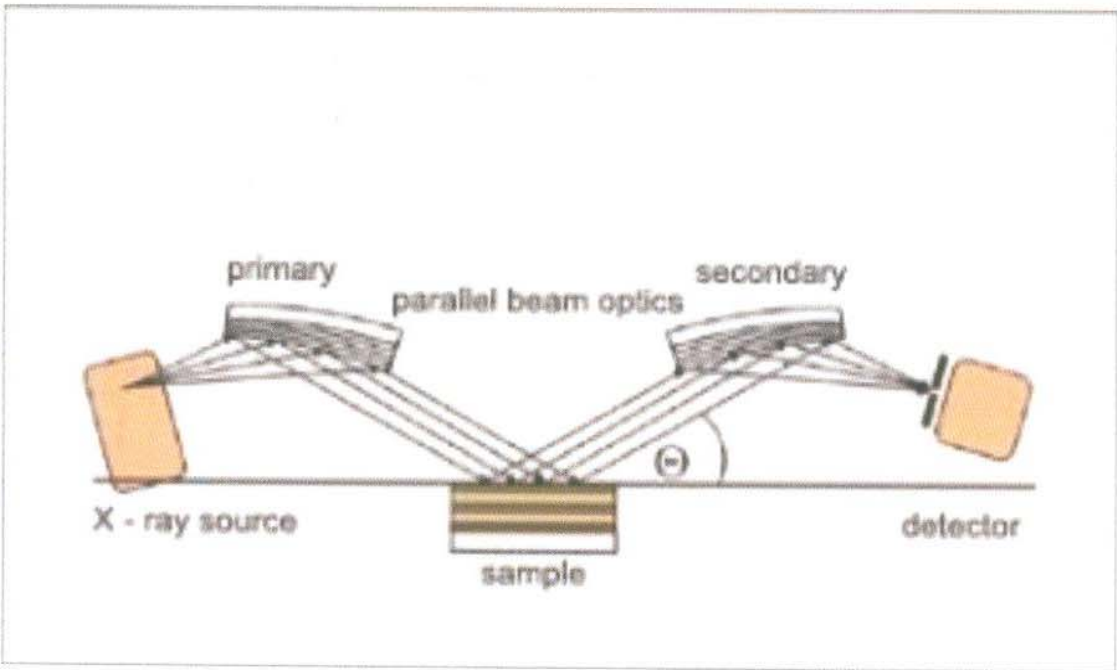


Figura 13. Imagen donde se muestra la técnica de difracción de rayos X, donde la fuente de rayos x choca con el espejo, después el rayo incide directamente en la muestra para posteriormente difractarse hacia el espejo secundario y finalmente al detector.

5.4.2 Fluorescencia de Rayos X con Microtubos Niton XLt3 Thermoscientific



Las muestras de zeolita fueron analizadas por la técnica Fluorescencia de rayos X con tubos miniaturizados, de acuerdo al método 6200 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos “Field portable X-ray fluorescence spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment”. Se utilizó un equipo marca ThermoScientific Modelo NITON XLt3 del Laboratorio de Geología. El método es aplicable para el análisis de suelos y sedimentos. Esta técnica es adecuada para el análisis de elementos con número atómico de 16 y superior. Los límites de detección (LD) del método se encuentran por encima del nivel de toxicidad regulado en Estados Unidos. El LD se obtiene a partir de una matriz de cuarzo

limpia, libre de interferencias espectrales y utilizando tiempos de conteo de 100 a 600 segundos. El efecto físico de la matriz resulta de variaciones en el carácter físico de la muestra. Estas variaciones incluyen: tamaño de partícula, homogeneidad, condiciones superficiales. Por ejemplo, si algún elemento químico se concentra preferencialmente en una partícula fina con respecto a una partícula gruesa, entonces la concentración medida por la técnica PXRF va a depender de la distribución de las partículas finas dentro de la matriz con las partículas gruesas. La mejor forma de reducir un error en la medición debido a diferencia en el tamaño de partícula es moler y tamizar las muestras, de tal forma que se maneje un tamaño uniforme de partícula.

Tabla 1. Límites de detección para el equipo ThermoScientific Niton XLt3. Las concentraciones se expresan en mg/kg.

Fe	Cu	Mn	Zn	As	Pb	Zr	Sr	Rb	W	Ti	Ca	K	S
20	7	30	5	2.5	3	2	1	2	12	14	20	15	60

En lo referente al análisis en las muestras de zeolita, y con el objetivo de evaluar el desempeño analítico del equipo de PXRF ThermoScientific Niton XLt3 se siguieron los procedimientos establecidos en el método 6200 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Se utilizó un blanco de material de dióxido de silicio (cuarzo) El material de cuarzo es certificado. Se llevó a cabo un chequeo de la calibración de la energía para evaluar si el instrumento presentaba alguna deriva en las líneas características de los rayos X. La precisión (%RSD) y la exactitud (%D) se evaluaron en base al análisis del material estándar de referencia NIST 2710a Montana 1 Soil. La precisión del equipo se expresa cómo %RSD y se evalúa analizando los estándares de referencia SRM-NIST 2710, SRM-NIST 2709a y SRM-NIST 2711 al menos una vez por día de análisis, donde el material debe analizarse en siete réplicas (Anexo 1 y 2). En base a estas medidas se estima la desviación estándar relativa la cual no debe ser mayor a 20% para cada elemento analizado, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{RSD} = (\text{SD} / \text{Concentración promedio}) \times 100$$

RSD= Desviación estándar relativa a la precisión del instrumento para el elemento de interés

SD= Desviación estándar de la concentración del elemento de interés

Concentración promedio= promedio basado en las siete réplicas

5.4.3 Petrografía y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDS)



La morfología y los análisis semicuantitativos del mineral zeolita se obtuvieron en el Laboratorio de la Estación Regional del Noroeste (ERNO) utilizando un microscopio electrónico de barrido de mesa Hitachi TM3030plus, acoplado con una espectroscopia Bruker Quantax 70 de dispersión de energía de rayos X (EDX) operando a 15 kV. Las muestras se ingresaron en lámina delgada y en sedimento para obtener la morfología de la zeolita heulandita y hacer un análisis químico semicuantitativo para observar la composición de cada una de las muestras.

6. Resultados

Se utilizaron las técnicas analíticas de difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x y microscopio electrónico de barrido para la caracterización del mineral, geoquímica total y morfología de las muestras para poder determinar la variedad de zeolita que se estudió. Además, se delimitó la microcuenca para mostrar la zona de depósito del mineral y las principales corrientes que drenan a la localidad del área de estudio.

Con la técnica de difracción de rayos x se obtuvieron difractogramas con los que se determinó la variedad de zeolita heulandita como principal mineral dentro de la muestra, la cual se analizó en el equipo en muestra pulverizada. Además, se obtuvieron diagramas circulares donde se observan los porcentajes de la zeolita heulandita en cada una de ellas y los elementos traza que complementan a la muestra analizada.

Se realizó el análisis en fluorescencia de rayos x donde se aplicaron 3 réplicas a cada una de las muestras en el equipo para poder determinar mediante las lecturas la geoquímica total de cada una de ellas, donde se obtuvo un promedio de los 3 análisis y de esta manera ver la relación geoquímica entre el Uranio y elementos mayores (K, Ca) y elementos traza (Rb, Sr). Así mismo, se realizó una comparación entre los porcentajes obtenidos de los elementos Rb, Zn, Cu, As, Pb y U de las muestras analizadas (SPU2-03, SPU-P1, SPU-P2, SPU-P4, SPU-P10) con los porcentajes de suelos (Bowen, 1979), corteza terrestre y sedimentos (Taylor & McLennan, 1985) para observar el comportamiento de las muestras en relación con los porcentajes anteriormente publicados.

Se ingresaron láminas delgadas sin cubre objetos de las muestras al microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS) para observar la morfología del mineral zeolita heulandita que se estudió. Además, dentro del mismo equipo se realizó un mapeo

químico donde se muestra un espectro y recuadros coloreados donde se determina qué elementos predominan dentro de la muestra analizada.

También se realizó un comparativo entre la zeolita de La Palma, Divisaderos y la zeolita de San Pedro de Ures, donde se observa una variación en los elementos que se encuentran en las muestras, así como la morfología del hábito de cada una de las zeolitas de las dos localidades.

Se utilizó el programa SIATL de INEGI para delimitar la microcuenca y sus corrientes de primer y segundo orden, donde se agregaron los principales ríos que drenan a la localidad.

Se realizó una sección en campo y perfil topográfico donde se puede observar la variación litológica del afloramiento donde se ubican las muestras, además se agregó la ubicación del punto de muestreo para mostrar la variación del porcentaje de la zeolita heulandita así como la cantidad de Uranio obtenido por el método de fluorescencia de rayos x en cada una de ellas.

6.2 Caracterización mineralógica de la zeolita por Difracción de Rayos X y recolección del patrón se basó en un intervalo 2θ de 8°-38° y una longitud de onda de 1.54060.

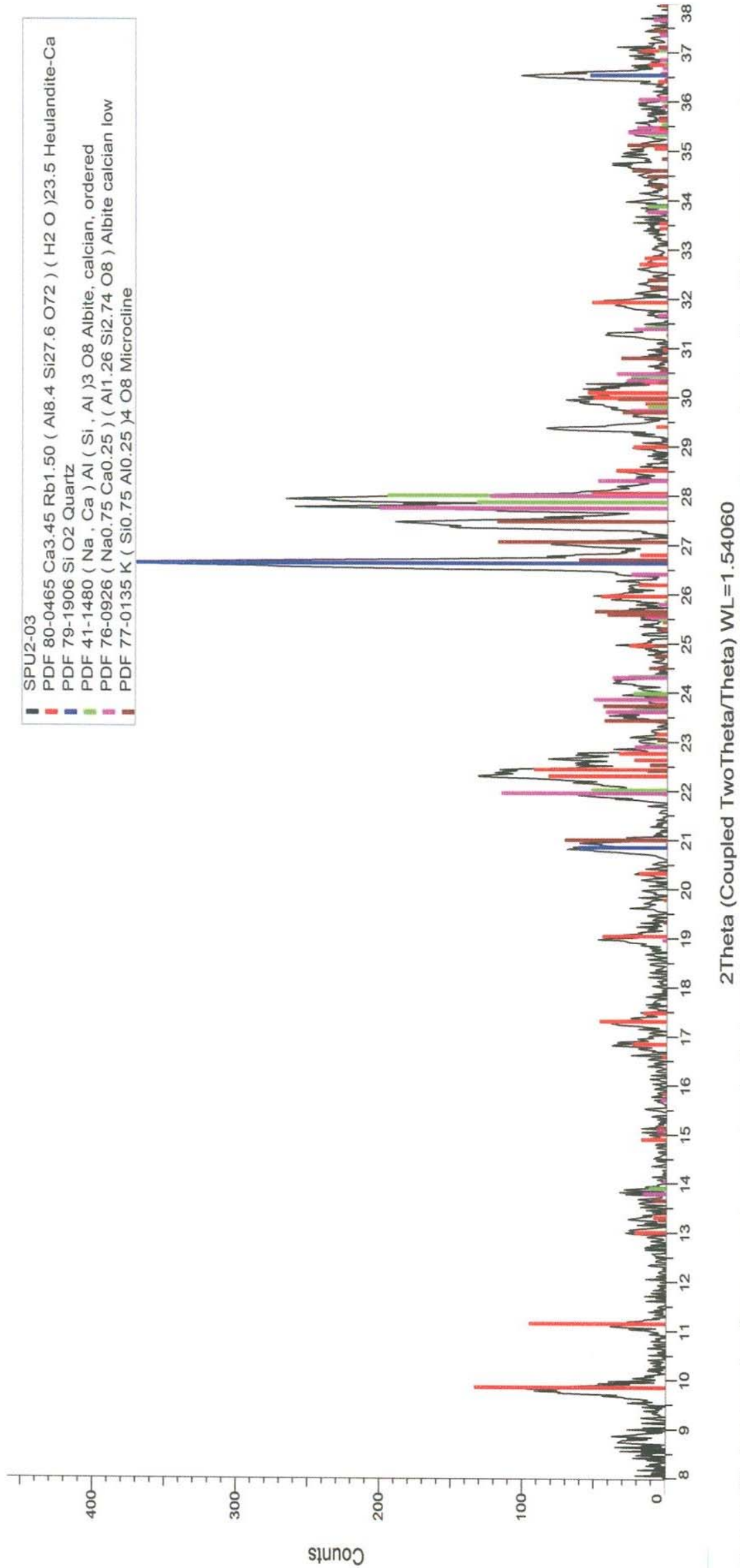


Figura 15. Imagen donde se muestra que la principal zeolita que contiene la muestra SPU2-03 corresponde con heulandita cálcica con trazas de cuarzo, microclina y albíta.

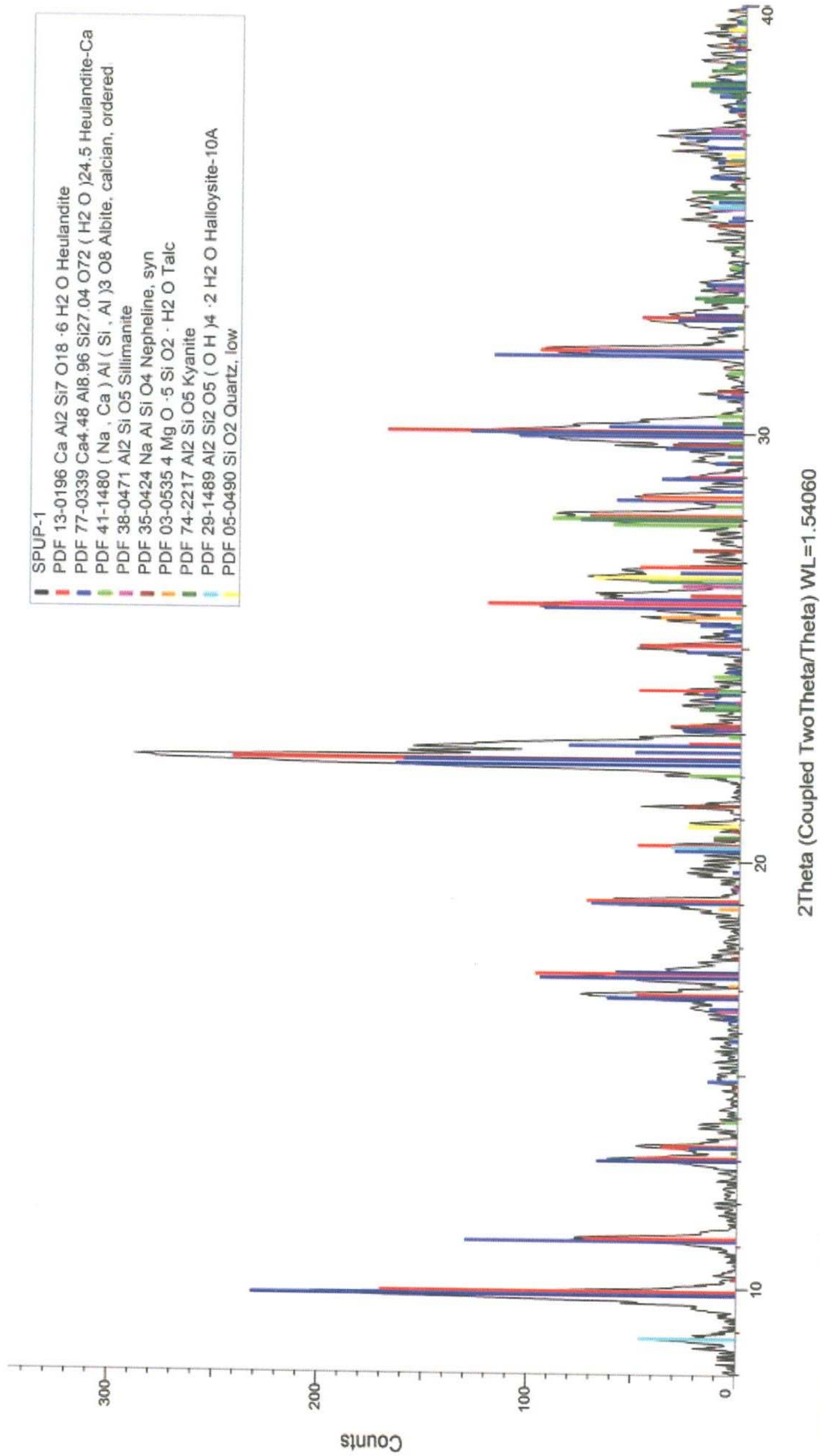


Figura 16. Imagen donde se muestra que la principal zeolita que contiene la muestra SPUP-1 corresponde con heulandita cálcica con trazas de cuarzo, microclina y albíta.

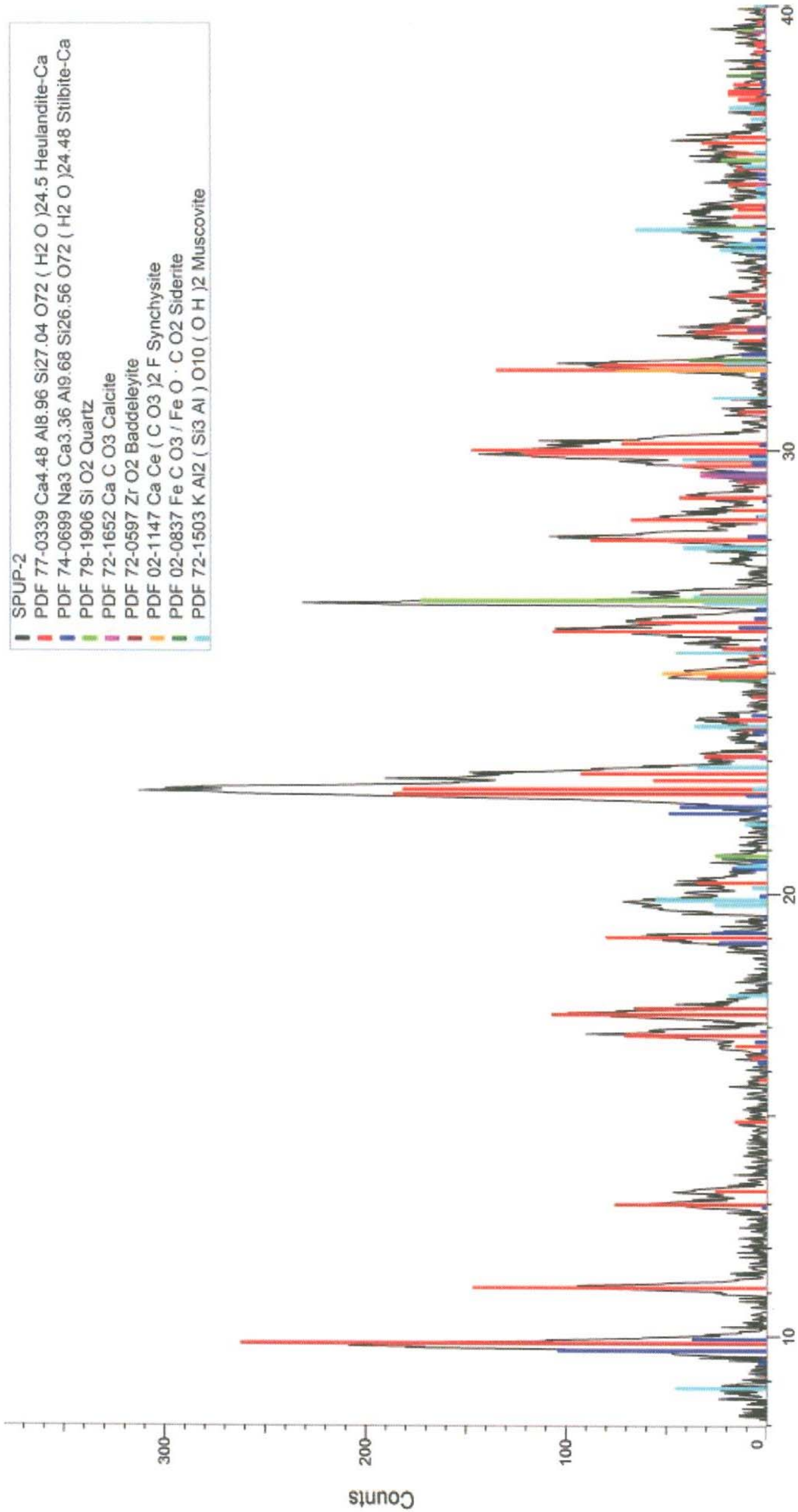


Figura 17. Imagen donde se muestra que la principal zeolita que contiene la muestra SPUP-2 corresponde con heulandita cálcica con trazas de estilbita, cuarzo, calcita, badeleyita, siderita y muscovita.

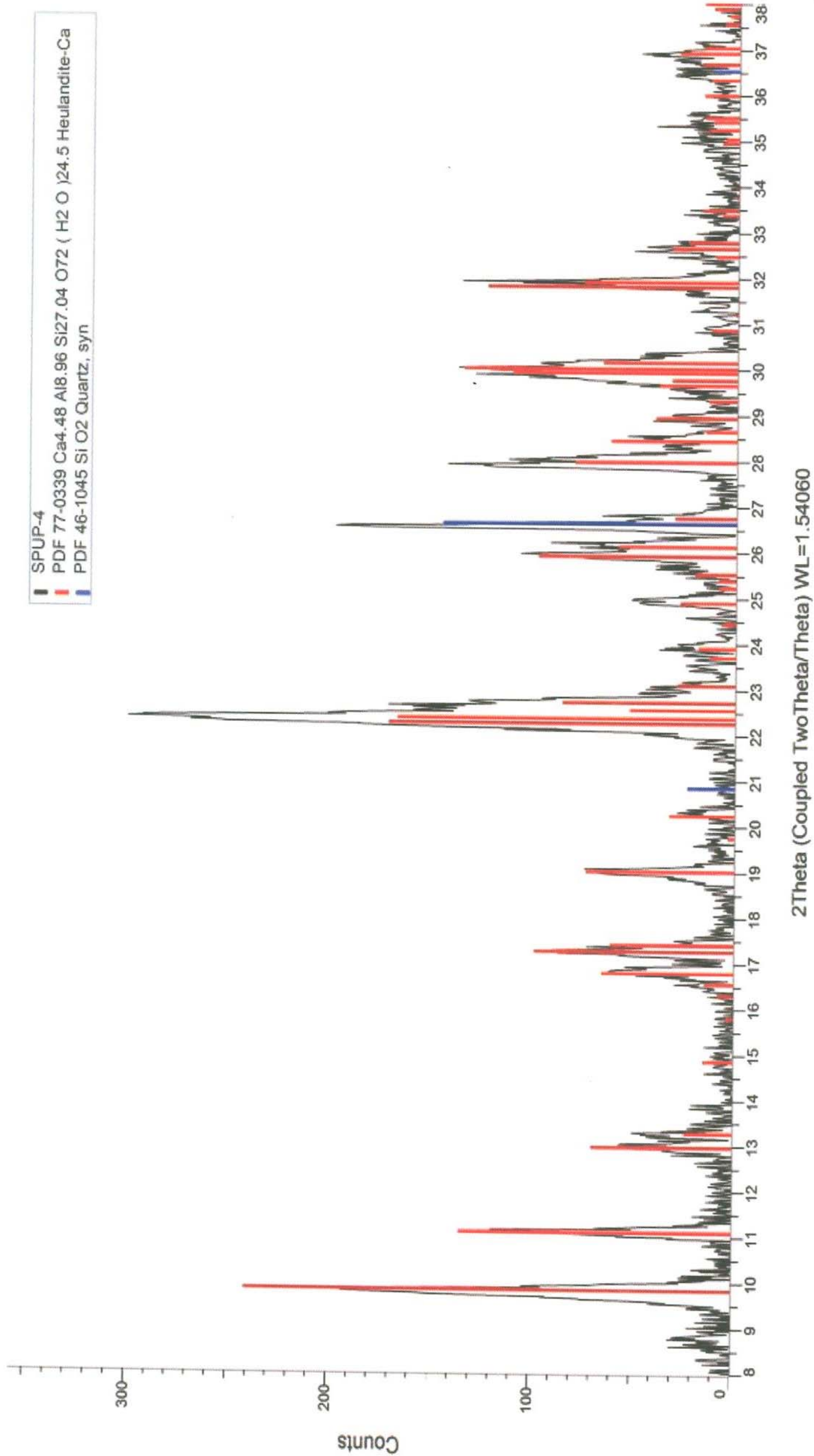


Figura 18. Imagen donde se muestra que la principal zeolita que contiene la muestra SPUP-4 corresponde con heulandita cálcica con trazas de cuarzo.

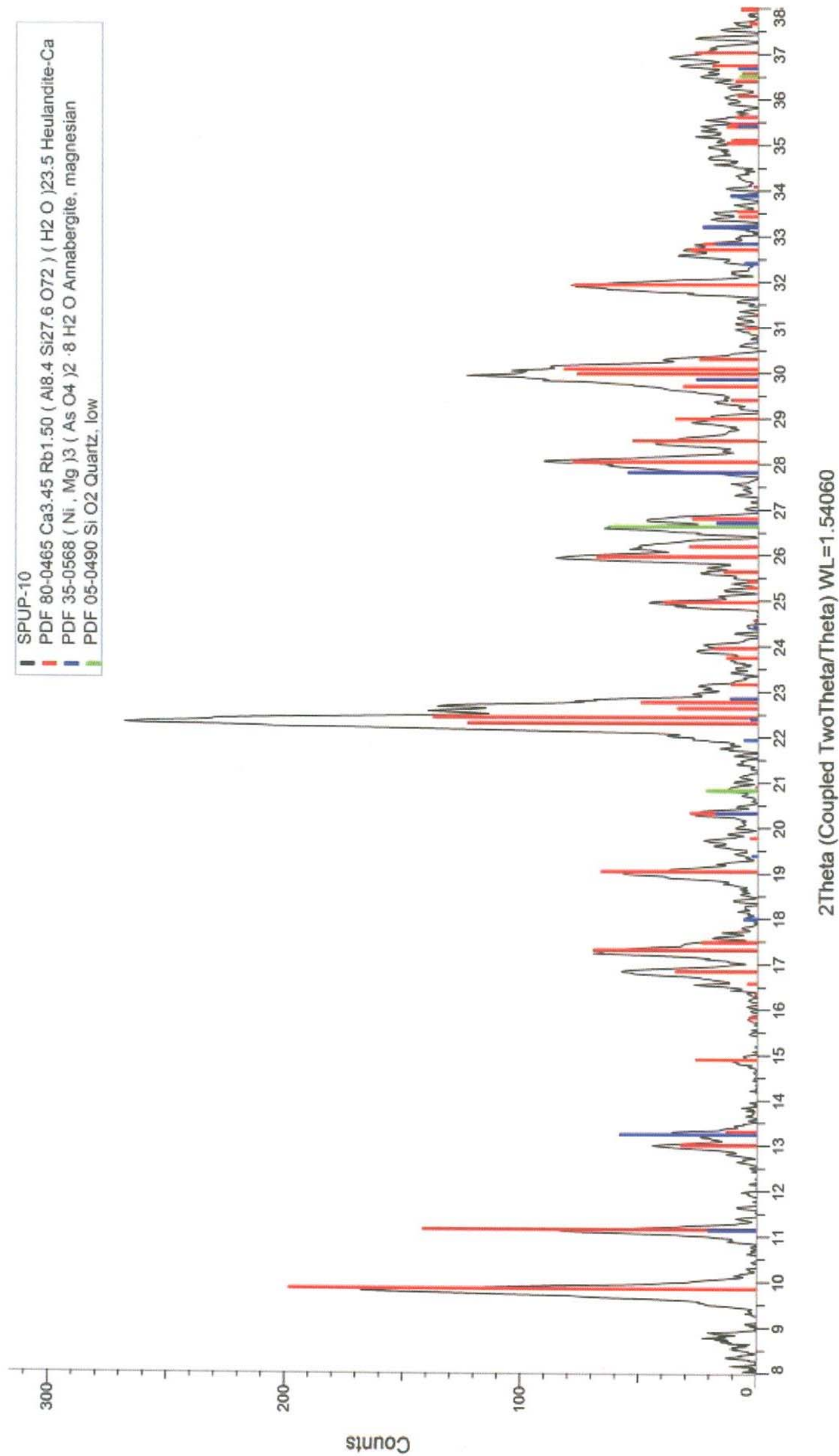


Figura 19. Imagen donde se muestra que la principal zeolita que contiene la muestra SPUP-10 corresponde con heulandita cálcica con trazas de annabergita y cuarzo.

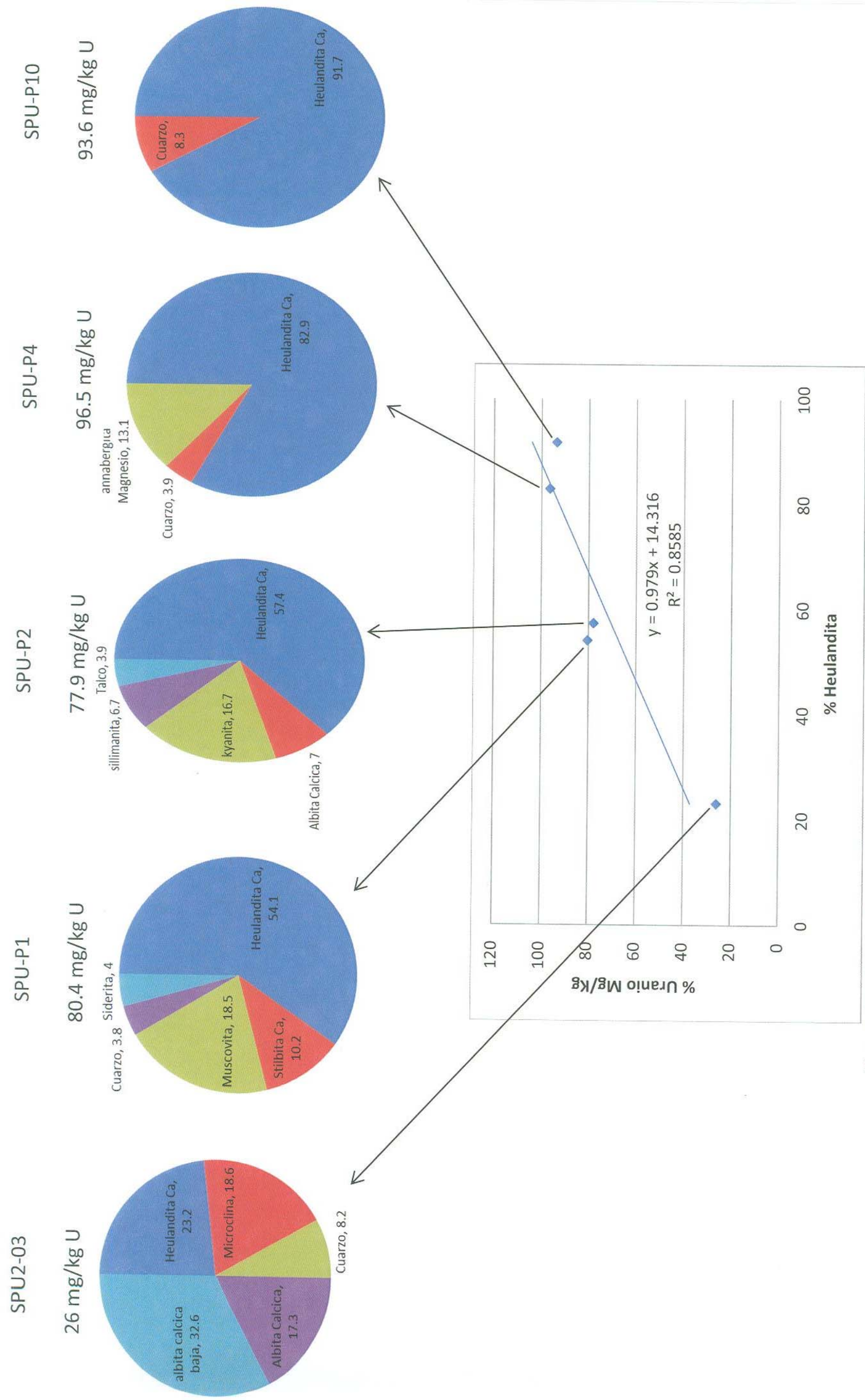


Figura 20. Gráfica donde se observa las muestras colectadas en campo, así mismo se muestran los porcentajes de zeolita en cada una de ellas. Se puede observar que a medida que la zeolita heulandita es más pura, se incrementa la cantidad de Uranio en mg/kg.

Discusión

En las figuras de los difractogramas (Figura 15-19), se puede observar que existe una variación mineralógica en cada una de las muestras donde se encuentra la heulandita pero a medida en que la muestra de la zeolita es más pura, solamente se encuentra con un solo mineral en su composición tal y como se muestra en los diagramas circulares (Figura 20) donde es posible observar que el porcentaje de la zeolita aumenta cuando se encuentra con un mineral traza.

Con estos resultados podemos definir que cuando la zeolita es más pura, es capaz de absorber más Uranio, ya que en su estructura cristalina cuenta con más capacidad de poder captar al elemento y de esta manera almacenarlo dentro de su química.

6.3 Geoquímica de muestra total por el método de Fluorescencia de Rayos X
Tabla y Gráfica de concentraciones de Uranio y Potasio en las muestras de Zeolita.

MUESTRA	U	K
2710a montana soil	6.97	20371.38
SPU 04 med	78.8866667	8666.95333
SPU P-9	67.2466667	8052.98
SPU P-3	57.5666667	14574.8767
SPU P-8	48.0433333	10333.4367
SPU P-6 1	74.4933333	9537.81
SPU2-04 Inf	90.3433333	10476.5767
SPU P-4	96.5433333	9443.79
SPU P-2	80.4133333	8053.66667
SPU P-6 2	71.7533333	12030.6333
SPU P-1	77.9	9007.61667
SPU P-10	93.6133333	8707.81
SPU-02-04	83.3766667	9457.88667
SPU2-04 Sup	77.9366667	9786.12333
SPU2-03	25.98	14149.9433
P1-2 Sup	64.0833333	6478.44333
SPU P-7	13.7366667	18117.4533
NASC	2.66	125
Promedio Corteza Superior	2.5	27400

Tabla 2. Figura donde se muestra los porcentajes de Uranio y Potasio de las muestras tomadas en campo, además de los promedios del NASC y Corteza Superior.

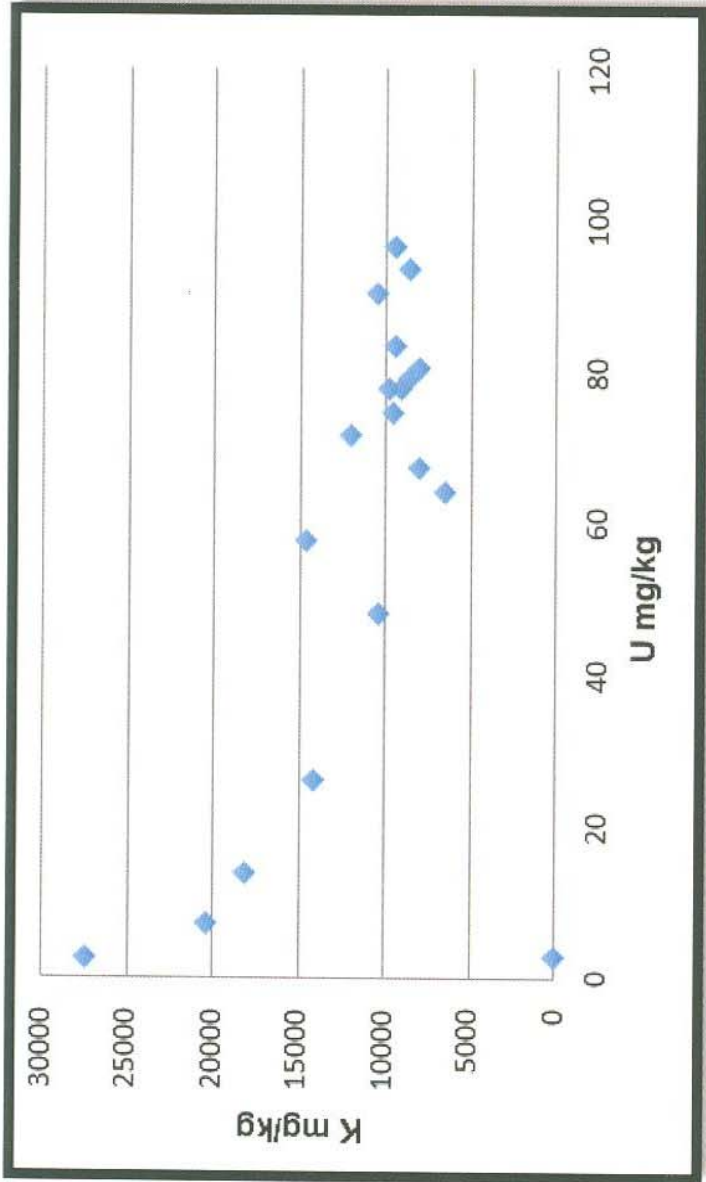


Figura 21. Gráfica donde se muestra la distribución de las concentraciones de Uranio y Potasio de la tabla 2. Se puede observar una tendencia de disminución de Potasio a medida que aumenta el uranio, pero entre los valores 60 y 80 hay una acumulación de valores donde la captura de Uranio va con la captura de Potasio.

MUESTRA	U	Ca
2710a montana soil	6.97	8312.91
SPU 04 med	78.8866667	18642.77
SPU P-9	67.2466667	31603.1767
SPU P-3	57.5666667	15217.1133
SPU P-8	48.0433333	19962.5733
SPU P-6 1	74.4933333	15088.6867
SPU2-04 Inf	90.3433333	21112.1033
SPU P-4	96.5433333	15157.73
SPU P-2	80.4133333	19730.34
SPU P-6 2	71.7533333	15377.1833
SPU P-1	77.9	18399.4567
SPU P-10	93.6133333	22746.0133
SPU-02-04	83.3766667	22400.9333
SPU2-04 Sup	77.9366667	18924.74
SPU2-03	25.98	28877.6033
P1-2 Sup	64.0833333	23989.53
SPU P-7	13.7366667	25354.0167
NASC	2.66	24303
Promedio Corteza Superior	2.5	25000

Tabla 3. Figura donde se muestra los porcentajes de Uranio y Calcio de las muestras tomadas en campo, además de los promedios del NASC y Corteza Superior.

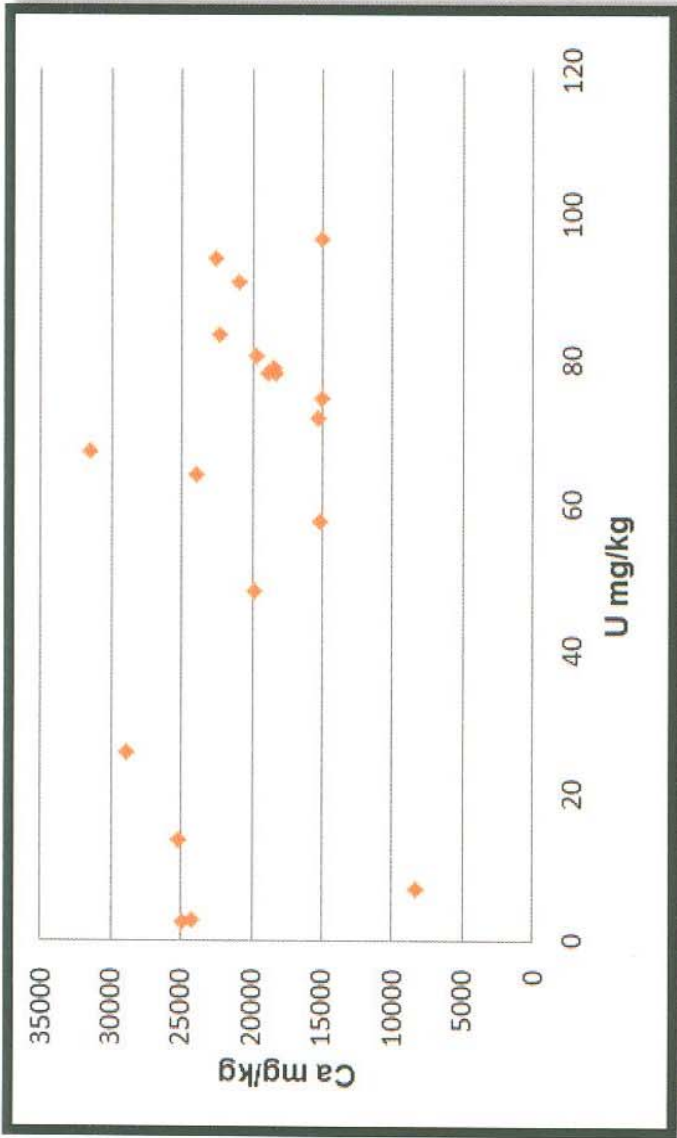


Figura 22. Gráfica donde se muestra la distribución de las concentraciones de uranio y Calcio de la tabla 3. Se puede observar como las muestras se encuentran dispersadas y no siguen un patrón de absorción entre los dos elementos.

MUESTRA	U	Rb
2710a montana soil	6.97	111.003333
SPU 04 med	78.8866667	77.54
SPU P-9	67.2466667	78.6
SPU P-3	57.5666667	118.863333
SPU P-8	48.0433333	73.6133333
SPU P-6 1	74.4933333	81.55
SPU2-04 Inf	90.3433333	78.9366667
SPU P-4	96.5433333	90.0166667
SPU P-2	80.4133333	71.4533333
SPU P-6 2	71.7533333	103.616667
SPU P-1	77.9	73.0533333
SPU P-10	93.6133333	87.7533333
SPU-02-04	83.3766667	68.48
SPU2-04 Sup	77.9366667	98.8
SPU2-03	25.98	90.15
P1-2 Sup	64.0833333	56.4233333
SPU P-7	13.7366667	136.943333
NASC	2.66	125
Promedio Corteza Superior	2.5	110

Tabla 4. Figura donde se muestra los porcentajes de Uranio y Rubidio de las muestras tomadas en campo, además de los promedios del NASC y Corteza Superior.

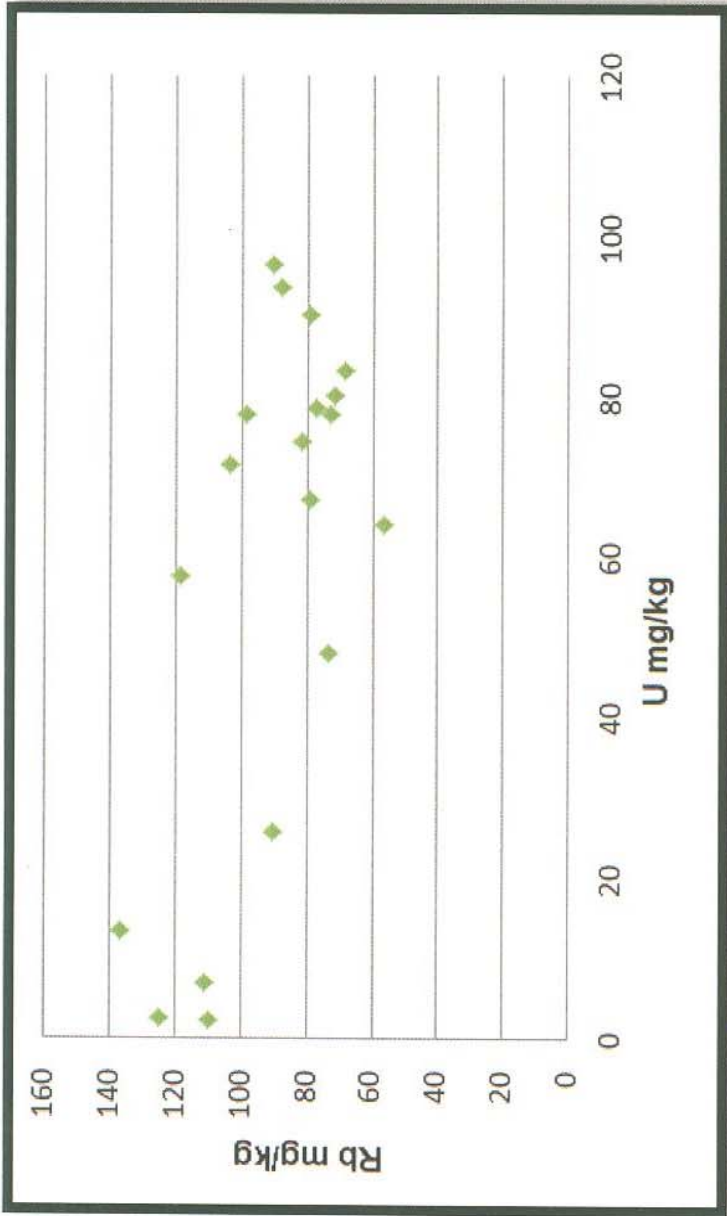


Figura 23. Gráfica donde se muestra la distribución de las concentraciones de uranio y Rubidio de la tabla 4. Se puede observar como existe acumulación de muestras coincidiendo en valores entre Rubidio y Uranio.

Tabla y Gráfica de concentraciones de Uranio y Estroncio en las muestras de Zeolita

MUESTRA	U	Sr
2710a montana soil	6.97	249.713333
SPU 04 med	78.8866667	7331.16667
SPU P-9	67.2466667	7486.57
SPU P-3	57.5666667	6519.46333
SPU P-8	48.0433333	4644.93667
SPU P-6 1	74.4933333	6847.19333
SPU2-04 Inf	90.3433333	8647.92
SPU P-4	96.5433333	8239.72333
SPU P-2	80.4133333	7049.44333
SPU P-6 2	71.7533333	6749.99333
SPU P-1	77.9	6706.78
SPU P-10	93.6133333	8419.13667
SPU-02-04	83.3766667	8605.64667
SPU2-04 Sup	77.9366667	8427.44333
SPU2-03	25.98	3054.91
P1-2 Sup	64.0833333	7925.15
SPU P-7	13.7366667	1574.78
NASC	2.66	142
Promedio Corteza Superior	2.5	350

Tabla 5. Figura donde se muestra los porcentajes de Uranio y Estroncio de las muestras tomadas en campo, además del promedio del NASC y Corteza Superior.

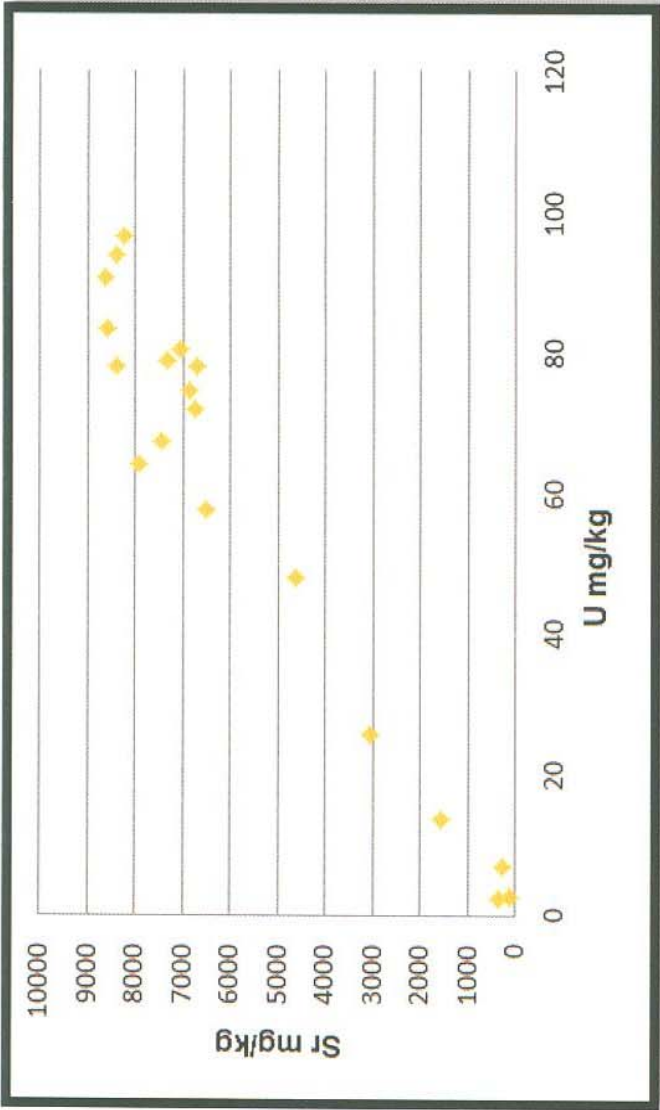


Figura 24. Gráfica donde se muestra la distribución de las concentraciones de uranio y Estroncio de la tabla 5. Donde se puede observar que a medida que aumenta la absorción de Uranio aumenta la cantidad de Estroncio.

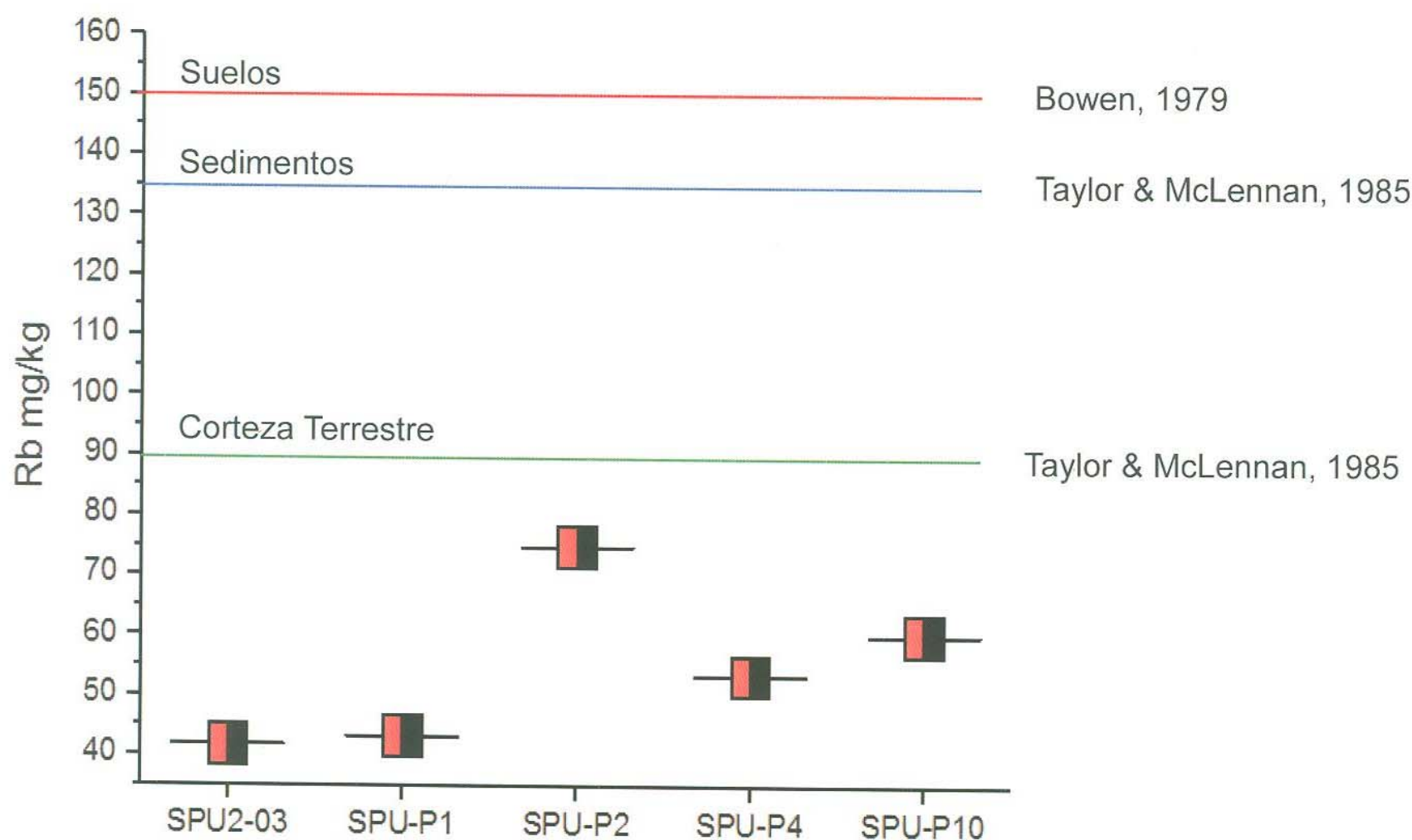


Figura 25. Gráfica donde se observa el promedio de Rubidio en las muestras por el método de Fluorescencia de rayos x, así como los promedios de la corteza terrestre, sedimentos (Taylor & McLennan 1985) y suelos (Bowen, 1979).

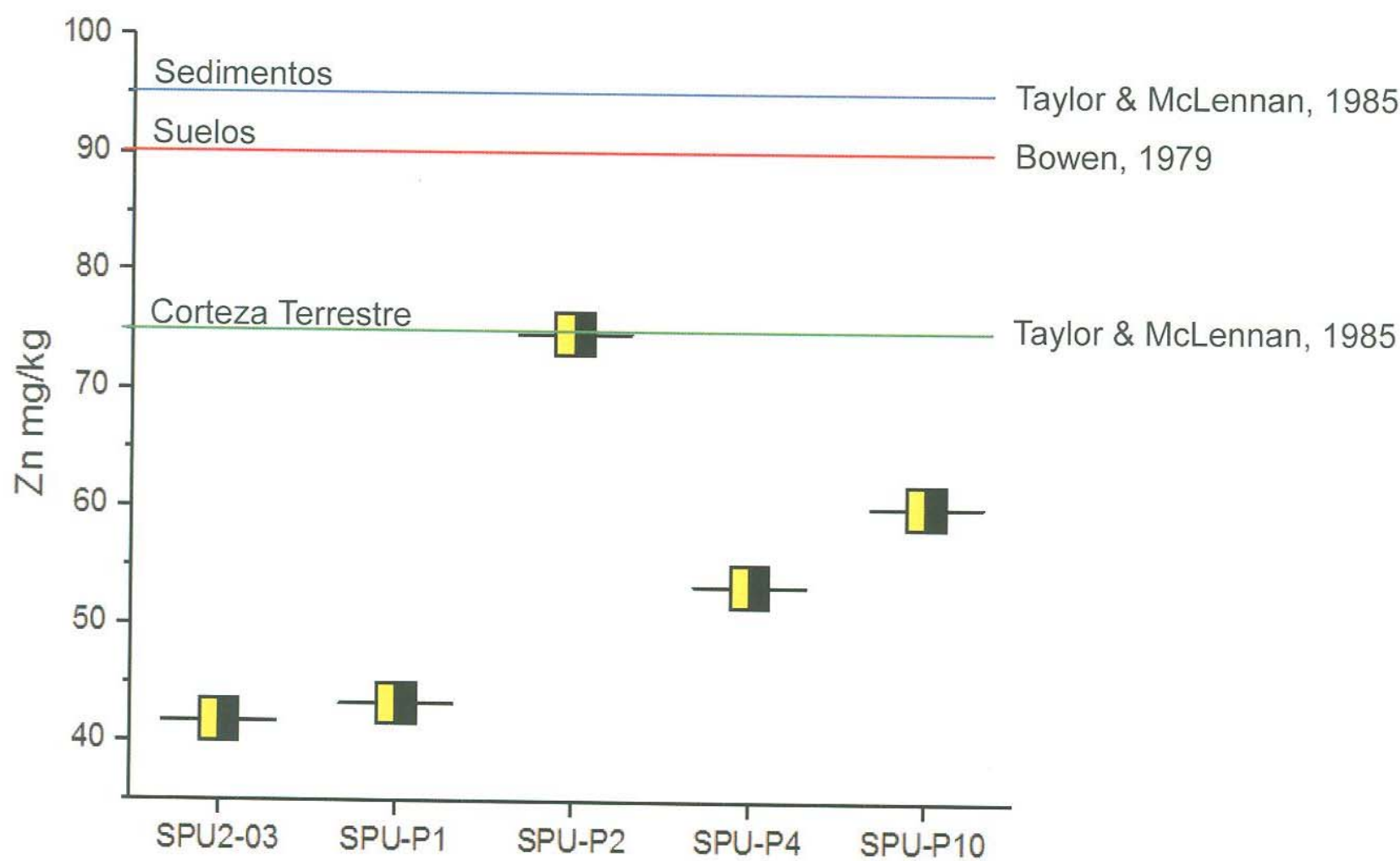


Figura 26. Gráfica donde se observa el promedio de Zinc en las muestras por el método de Fluorescencia de rayos x, así como los promedios de la corteza terrestre, sedimentos (Taylor & McLennan 1985) y suelos (Bowen, 1979).

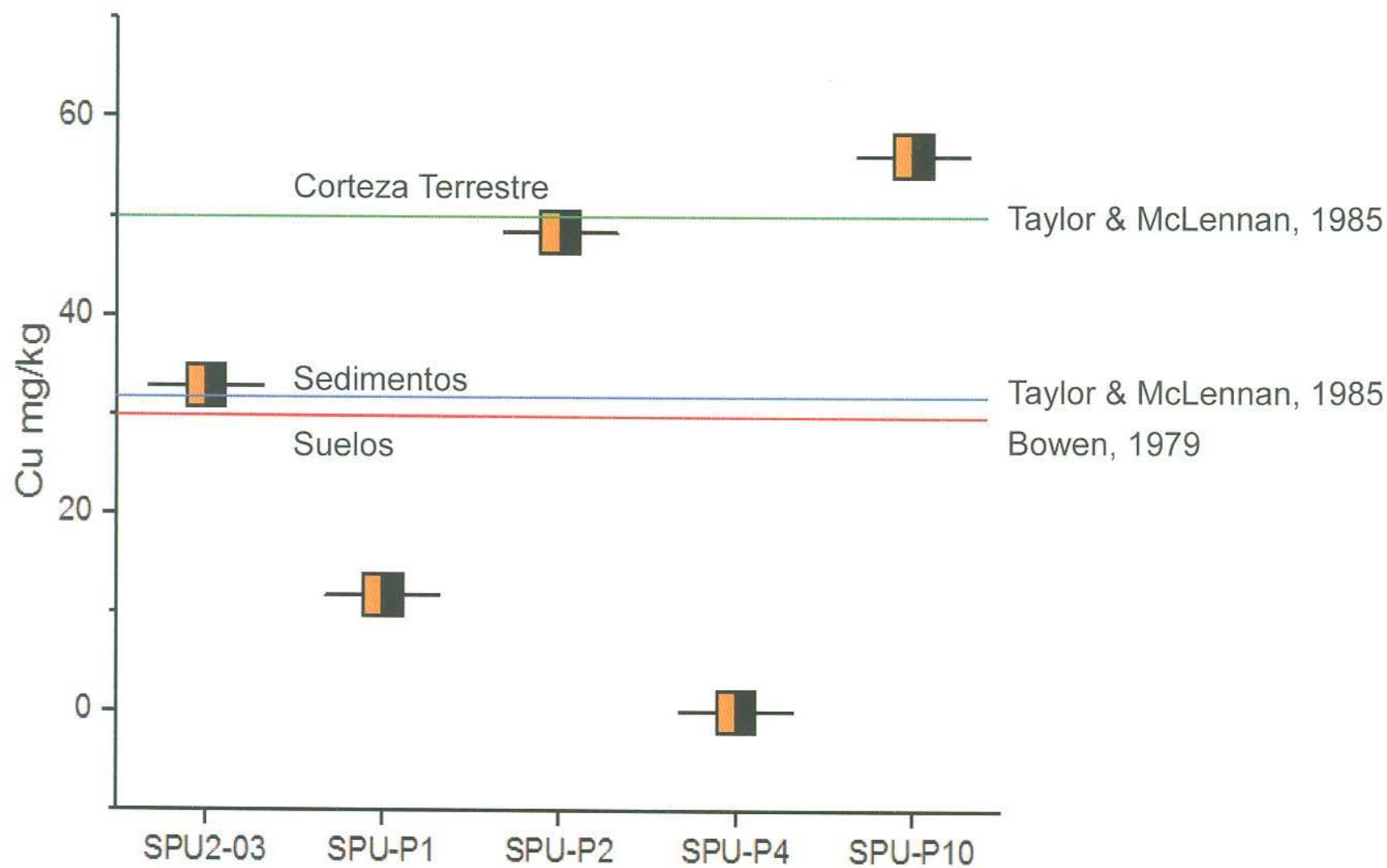


Figura 27. Gráfica donde se observa el promedio de Cobre en las muestras por el método de Fluorescencia de rayos x, así como los promedios de la corteza terrestre, sedimentos (Taylor & McLennan 1985) y suelos (Bowen, 1979).

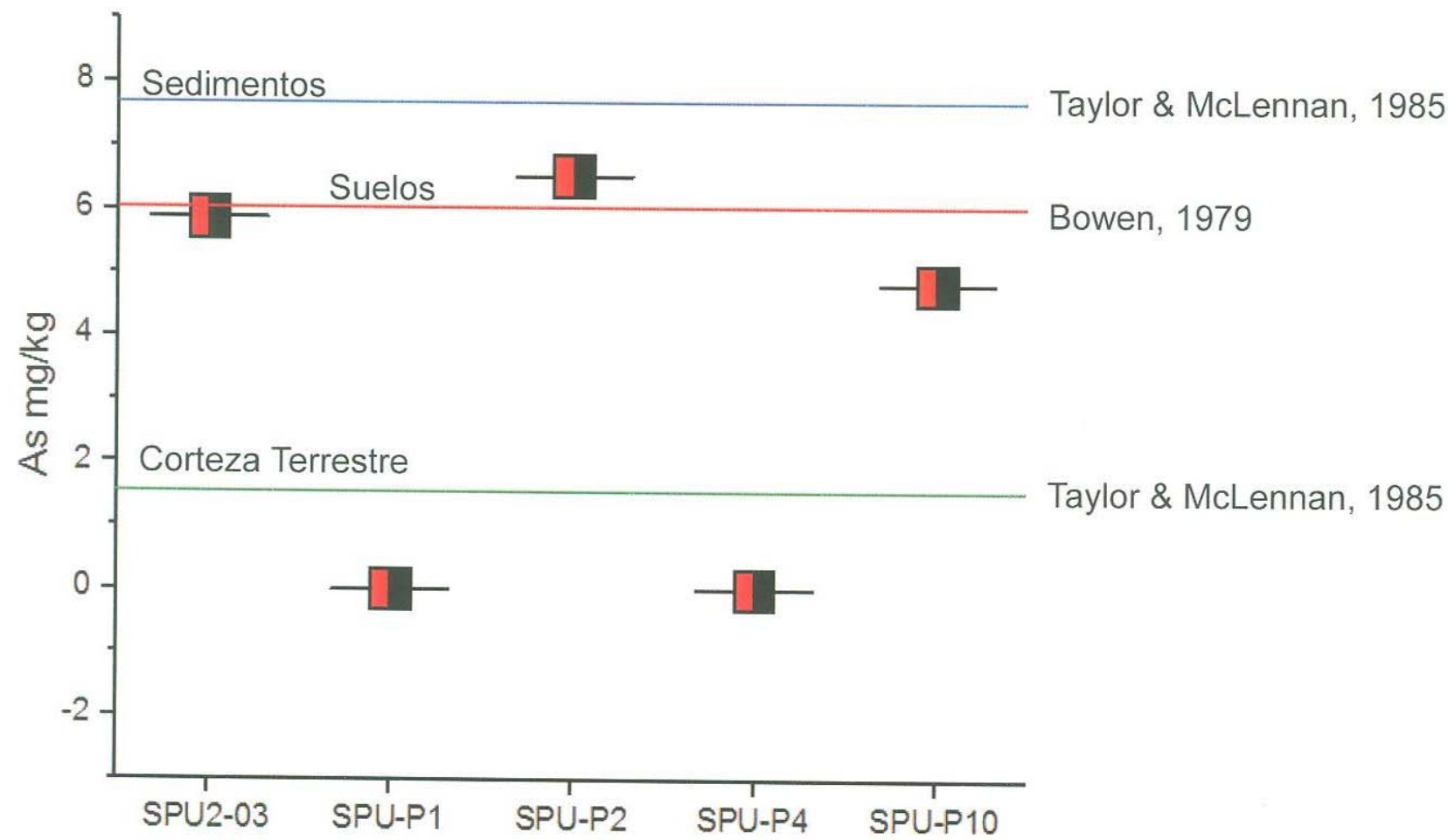


Figura 28. Gráfica donde se observa el promedio de Arsénico en las muestras por el método de Fluorescencia de rayos x, así como los promedios de la corteza terrestre, sedimentos (Taylor & McLennan 1985) y suelos (Bowen, 1979).

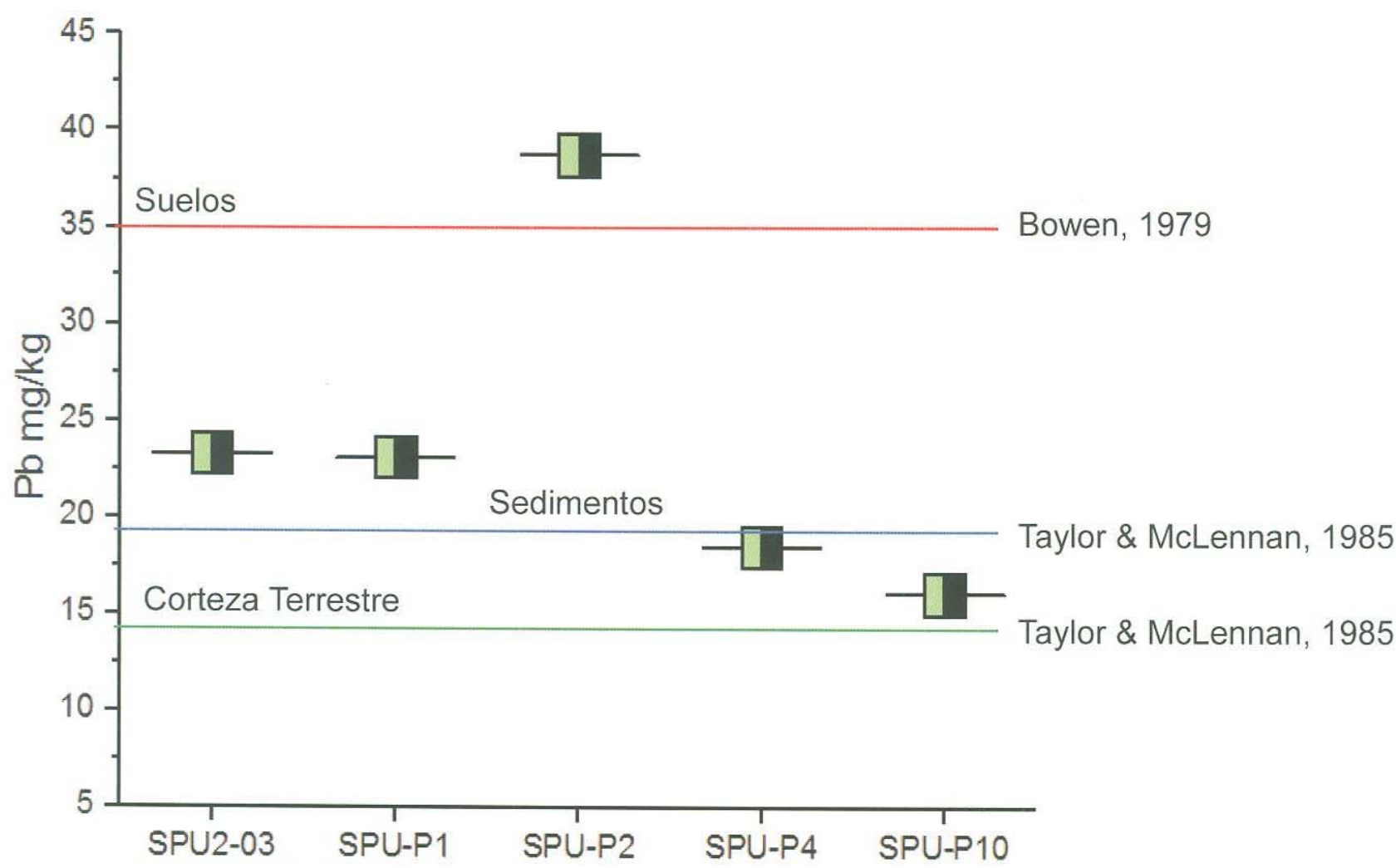


Figura 29. Gráfica donde se observa el promedio de Plomo en las muestras por el método de Fluorescencia de rayos x, así como los promedios de la corteza terrestre, sedimentos (Taylor & McLennan 1985) y suelos (Bowen, 1979).

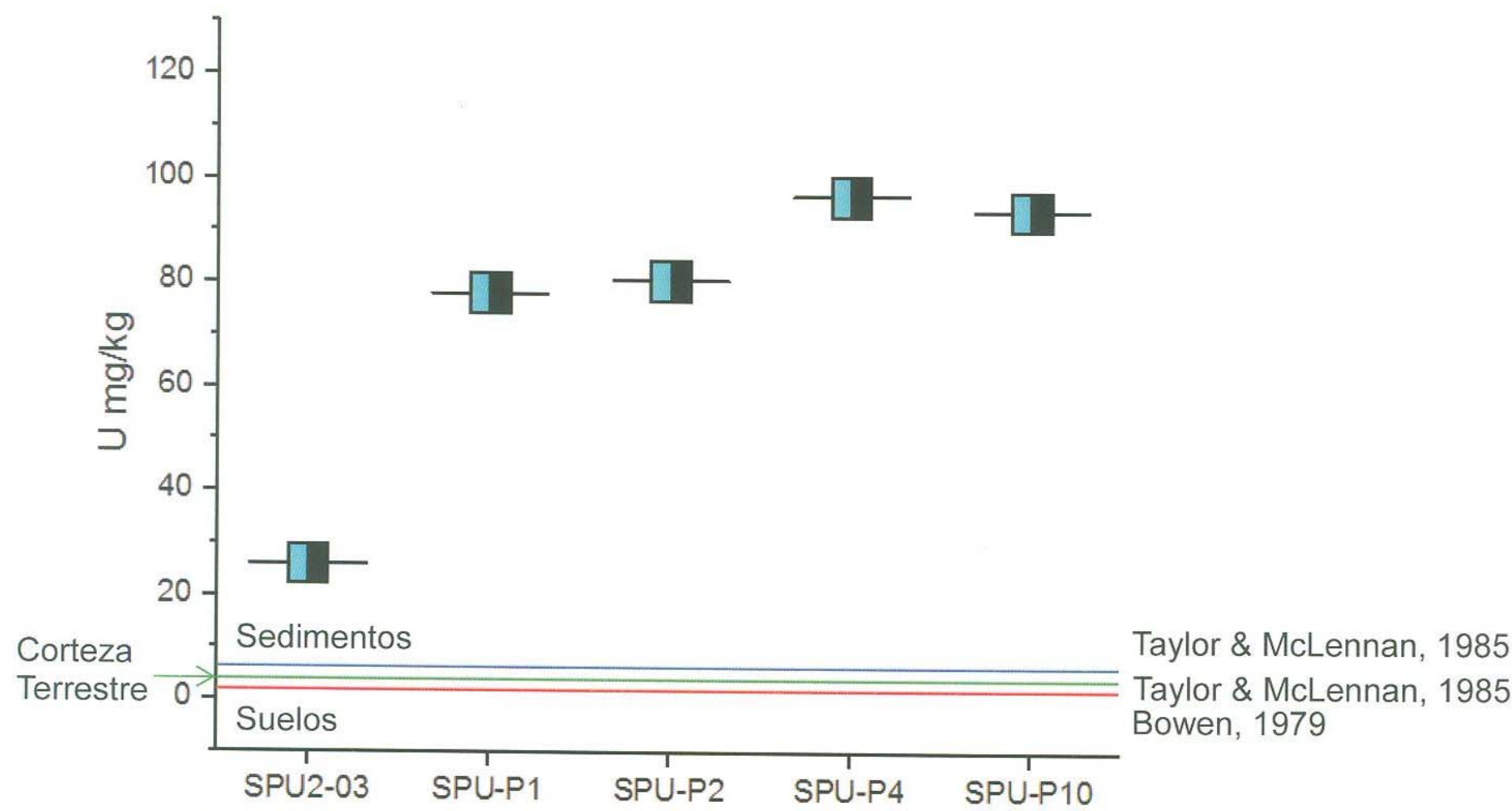


Figura 30. Gráfica donde se observa el promedio de Uranio en las muestras por el método de Fluorescencia de rayos x, así como los promedios de la corteza terrestre, sedimentos (Taylor & McLennan 1985) y suelos (Bowen, 1979).

Discusión

En las figuras y tablas mostradas anteriormente (Páginas 44-47), podemos observar el comportamiento de algunos elementos mayores y trazas en relación al Uranio, como algunos de ellos se relacionan conforme aumenta su cantidad o en algunos casos, en las muestras se puede observar cómo se acumulan en el mismo punto donde son muy parecidos sus valores y conforme aumenta la cantidad de Uranio también aumenta la captación de los elementos que se encuentran en la zeolita.

En las gráficas (Figura 25-30), se hace un comparativo con los valores de los promedios de suelos, sedimentos y la corteza terrestre, donde se observa como los valores de los elementos en la zeolita muestran una variación a los anteriormente publicados por Bowen, 1979 y Taylor & McLennan, 1985. Algunas muestras alcanzan o empatan estos mismos valores mientras que en otros casos las muestras llegan a sobrepasar esa cantidad, por lo que se puede interpretar que varios de los promedios de los elementos que se encuentran en la heulandita están por encima de los valores de los 3 parámetros antes mencionados.

Imágenes en microscopio electrónico de barrido SEM-EDS

Se realizó un análisis de las zeolitas en sedimento y en lámina delgada para observar la morfología del mineral y los elementos químicos que predominan dentro de la muestra que se analizó.

Se ingresaron al equipo dos tipos de zeolitas: chabazita del rancho La Palma, Divisaderos y heulandita de San Pedro de Ures donde en diferentes imágenes se pudo observar las características del hábito cristalino de cada una de ellas, de esta manera se puede diferenciar y determinar si debido al intemperismo que altera al mineral puede afectar a la población de la localidad.

La chabazita del rancho La Palma, Divisaderos se analizó en sedimento donde bajo diferentes aumentos en la resolución de la imagen se pudo observar en algunas fotografías la muestra a analizar (Figura 31) y una morfología poco fibrosa (Figura 32), pero en la manera en la que se aumentó la resolución se observó que su hábito se presentaba de una manera prismática tabular (Figura 35, 38), donde también se realizó una sección en el prisma para observar los elementos que predominan dentro de ella (Figura 41), además se aplicó un análisis químico donde se obtuvo un espectro y un mapeo donde se aprecian los principales elementos presentes en la muestra (Figura 33, 34, 36, 37, 39 y 40), donde se observan elementos traza como Arsénico presentes en la zeolita que es potencialmente tóxico en el consumo humano.

La heulandita de San Pedro de Ures se analizó en láminas delgadas y sedimento donde se observó bajo diferentes aumentos en la resolución una morfología más fina en la muestra (Figura 42), pero a medida que aumento la resolución se identificó un hábito tabular en la zeolita donde alrededor de los prismas se ve una morfología fibrosa (Figura 45, 46 y 49), el cual no fue muy evidente en la chabazita además en el análisis químico que se realizó a la zeolita se obtuvo el espectro y el mapeo de los elementos (43, 44, 47, 48, 50 y 51), el cual muestra elementos mayores y trazas como el Bario que soluble en agua es potencialmente tóxico para el consumo humano. En lámina delgada se realizó el mismo análisis donde se pudieron observar minerales como el cuarzo y halita (Figura 52 y 54), además de poder observar la misma morfología de la zeolita

tanto tabular como fibrosa (Figura 55, 56 y 57), acompañado del espectro de los principales elementos en la muestra.

La zeolita del rancho La Palma, Divisaderos comúnmente es la más utilizada en Sonora con diferentes aplicaciones en varios sectores pero actualmente se está utilizando la zeolita de San Pedro de Ures, es importante destacar que de ninguna de las zeolitas de las 2 localidades antes de ser comercializada se había hecho una caracterización adecuada para determinar a qué variedad pertenece o para tener un conocimiento sobre la química de la zeolita actualmente utilizada, ya que si no se toma en cuenta realizar los estudios necesarios para la caracterización se pueden obtener resultados poco convenientes por las propiedades físicas y químicas que presenta este grupo de minerales que pueden resultar dañinos para el ser humano.

6.4. Análisis químico y morfológico por microscopio electrónico de barrido de la zeolita del rancho La Palma, Divisaderos y de la zeolita de San Pedro de Ures.

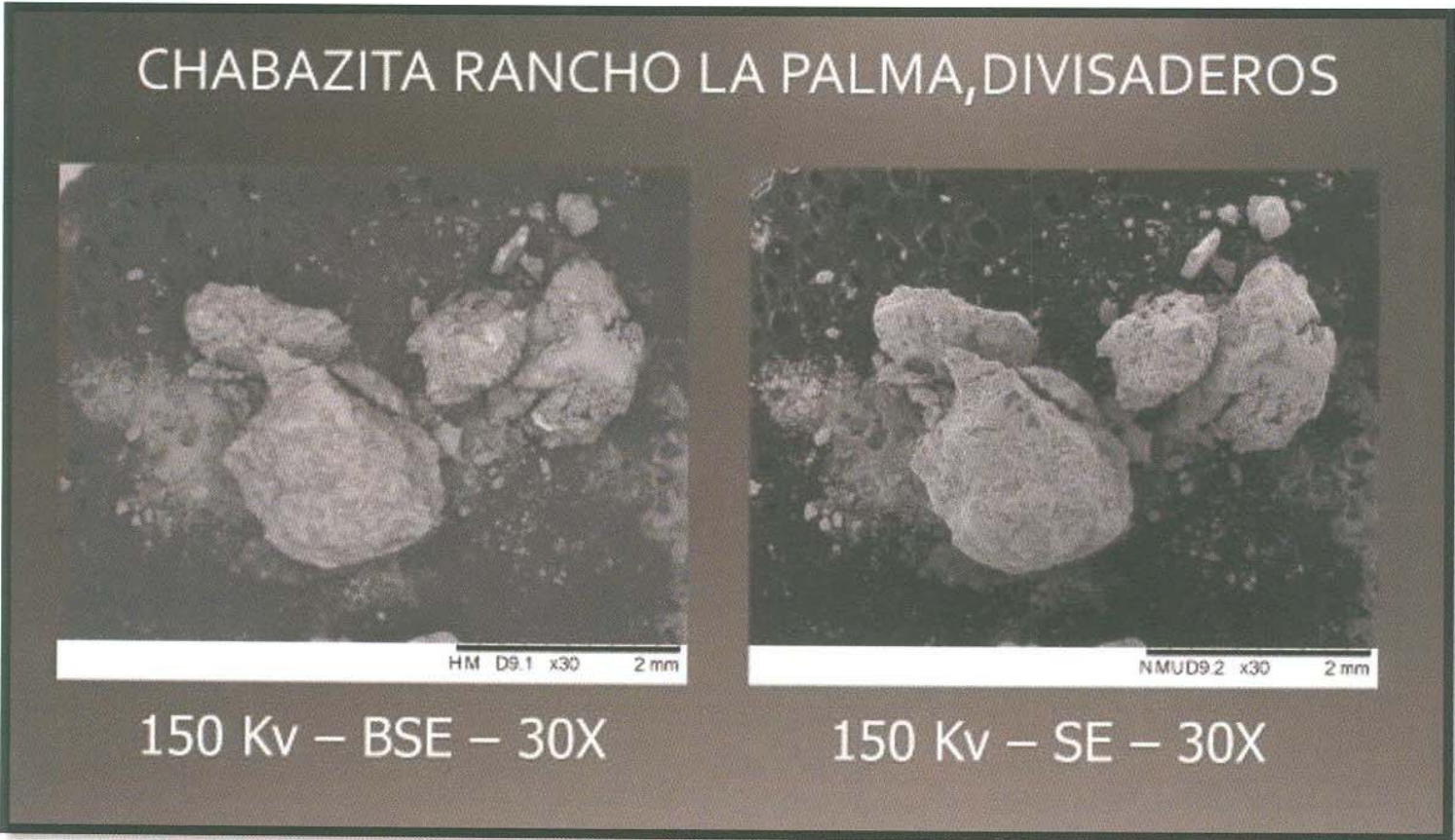


Figura 31. Imagen donde se muestra la zeolita chabazita del rancho La Palma, Divisaderos; imagen de la izquierda es con vista de electrones dispersados y la de la derecha con electrones secundarios, ambas a 30x.

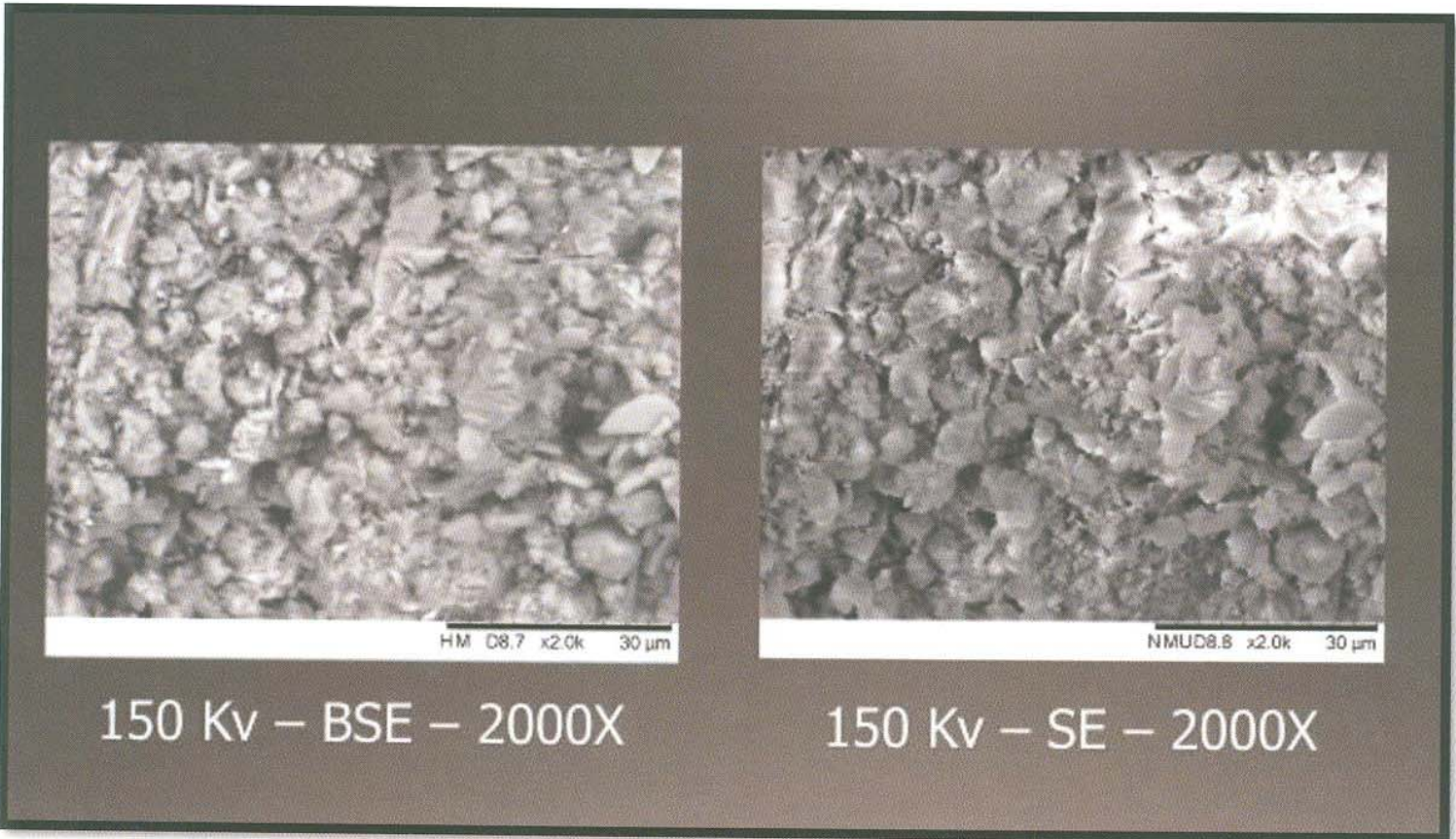


Figura 32. Imagen de la misma muestra donde se observa la zeolita chabazita del rancho La Palma, Divisaderos. Ambas imágenes son a 2000x, la de la izquierda con electrones dispersados y la de la derecha con electrones secundarios.

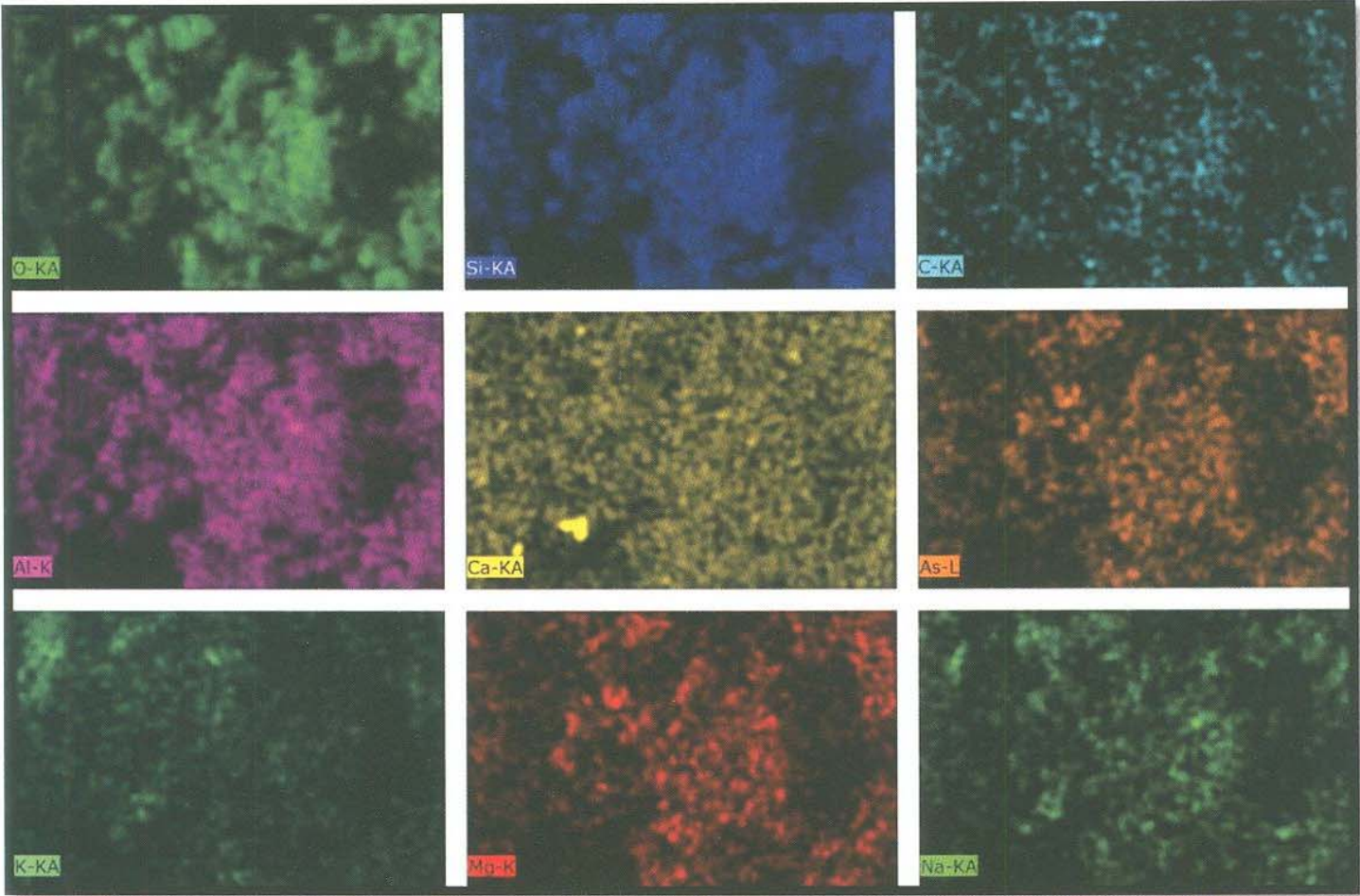


Figura 33. Imagen donde se muestra un mapeo químico semi-cuantitativo para analizar los elementos más representativos en la muestra.

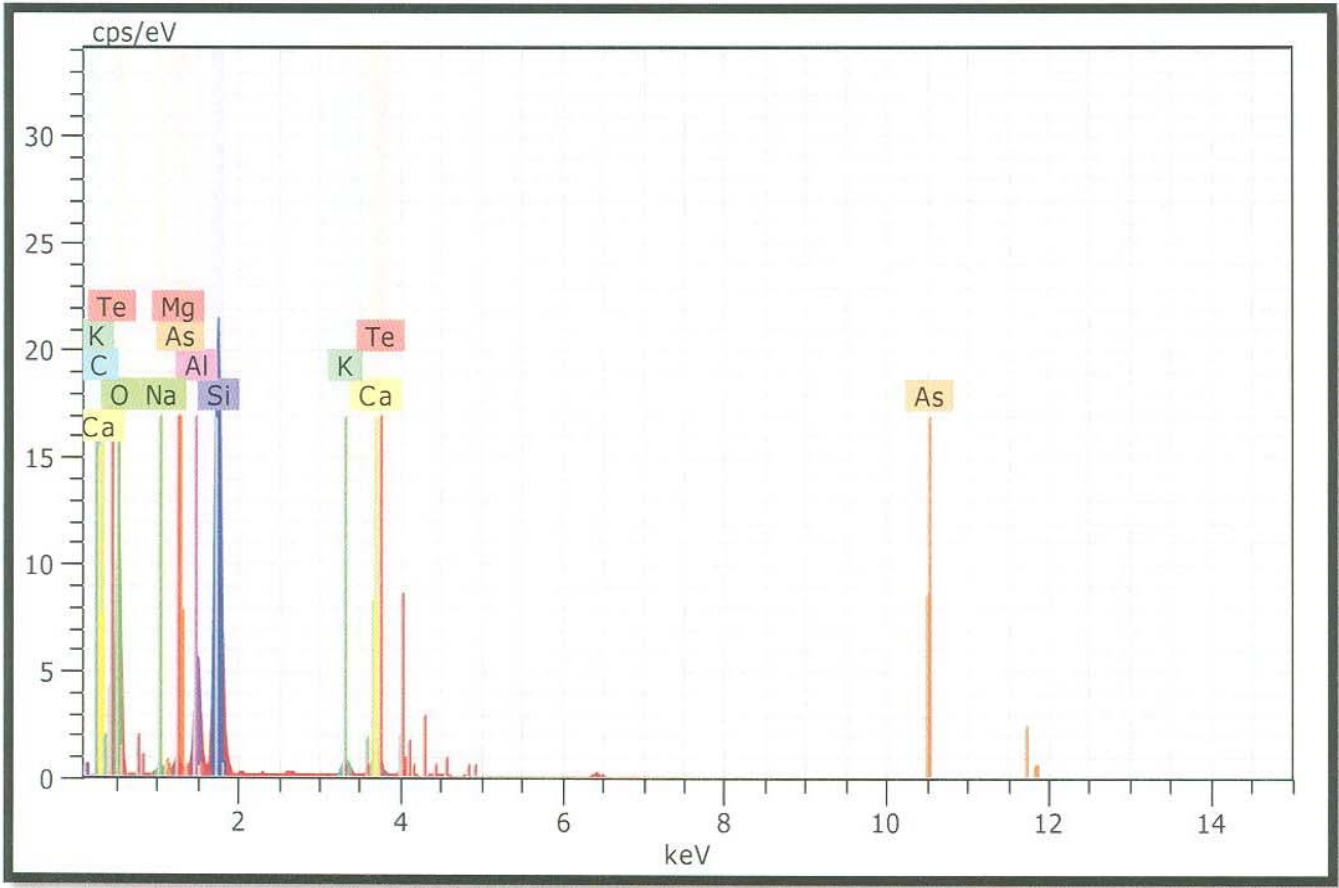


Figura 34. Imagen donde se observa el espectro de los principales elementos presentes en la muestra obtenidos por el mapeo químico.

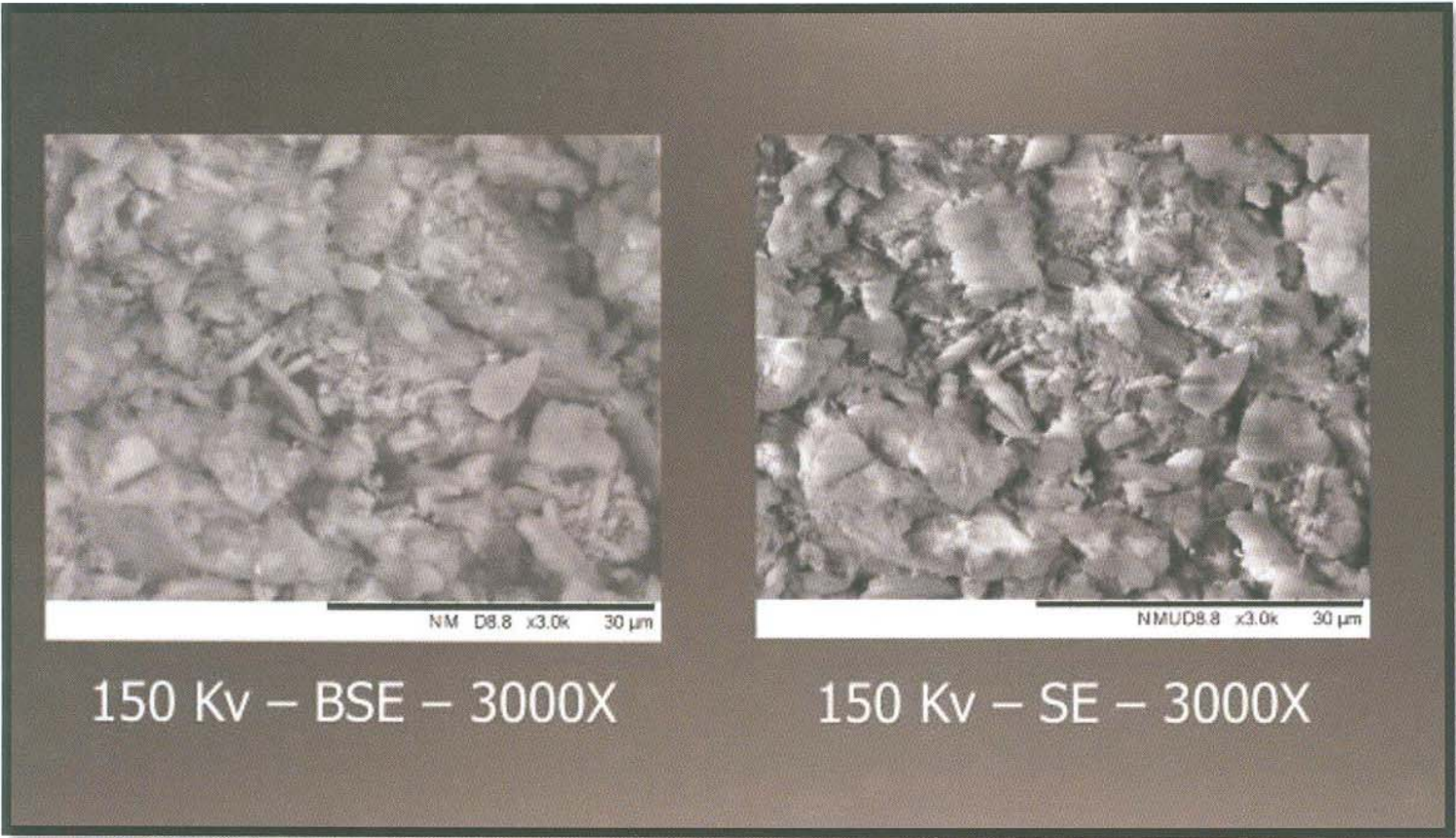


Figura 35. Imágenes donde se muestra la chabazita de El Rancho La Palma, Divisaderos donde se puede observar su hábito tabular característico de esta variedad de zeolita en aumento a 3000x.

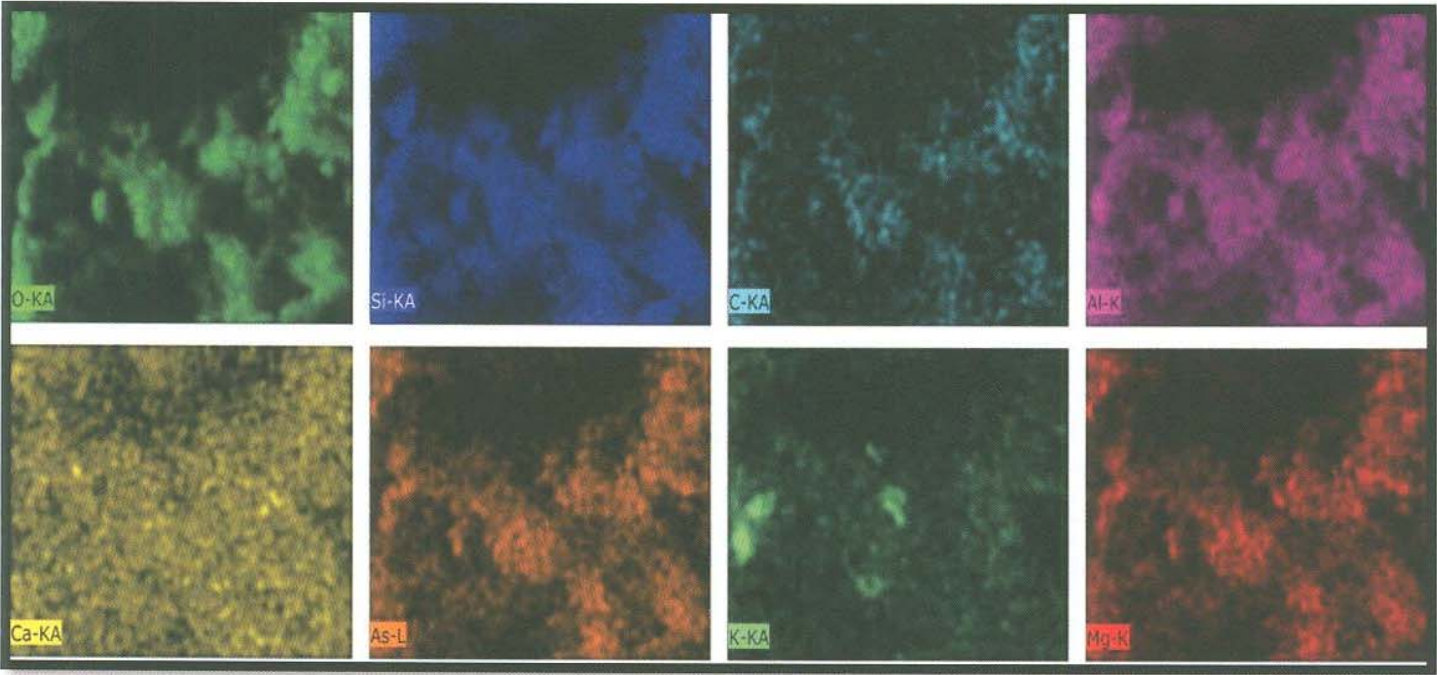


Figura 36. Imagen donde se muestra un mapeo químico semi-cuantitativo para analizar los elementos más representativos en la muestra.

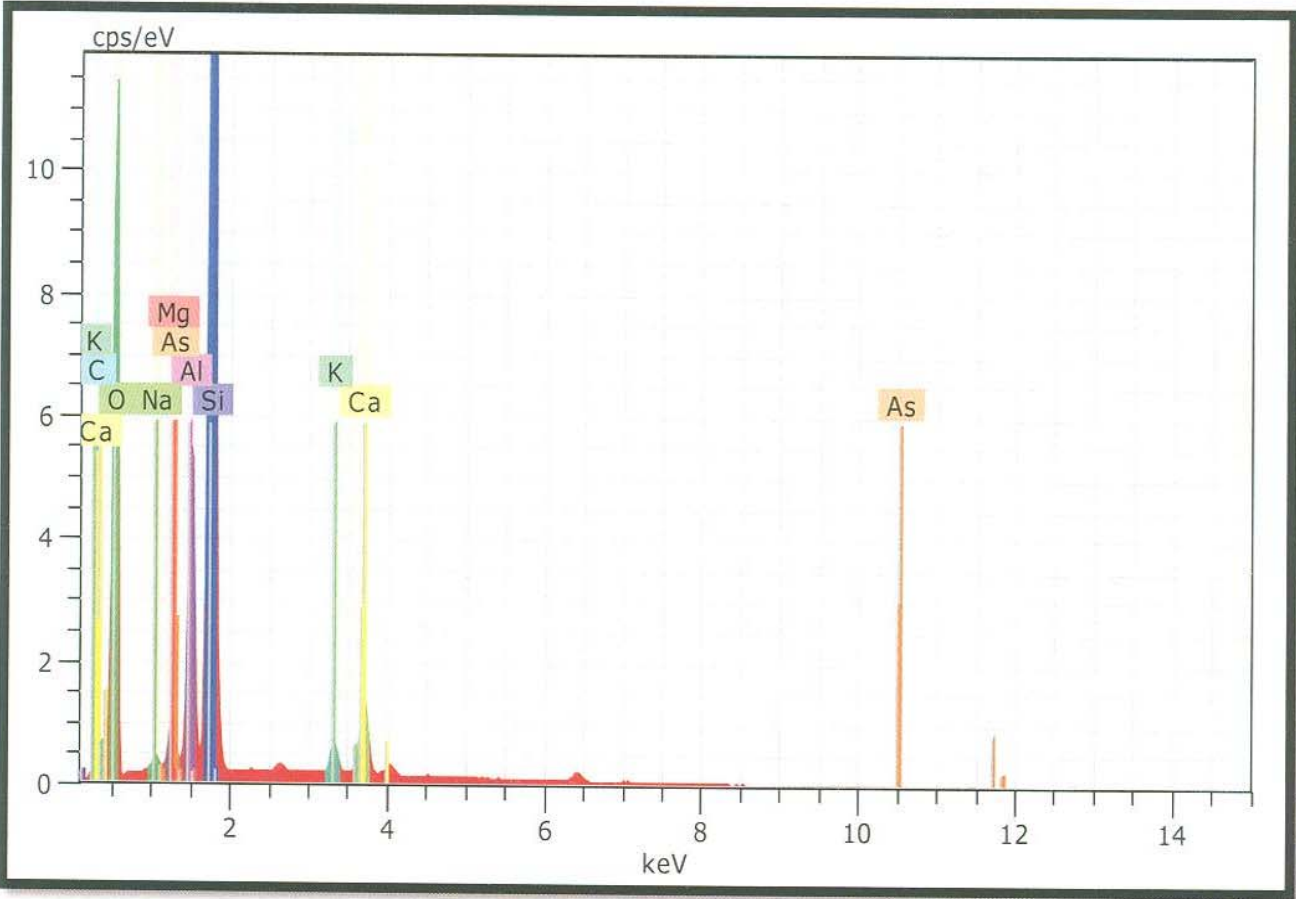


Figura 37. Imagen donde se observa el espectro de los principales elementos presentes en la muestra obtenidos por el mapeo químico.

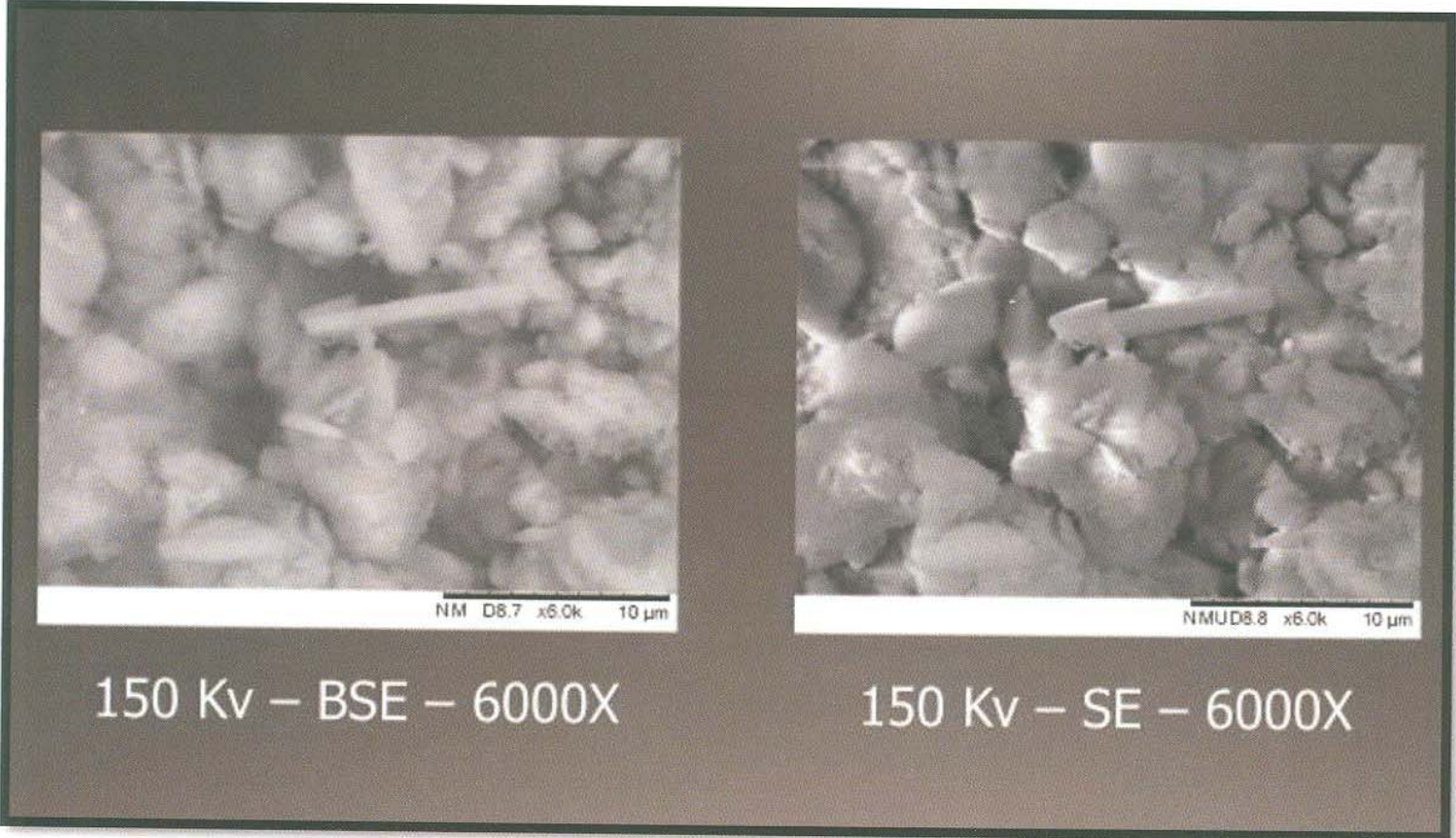
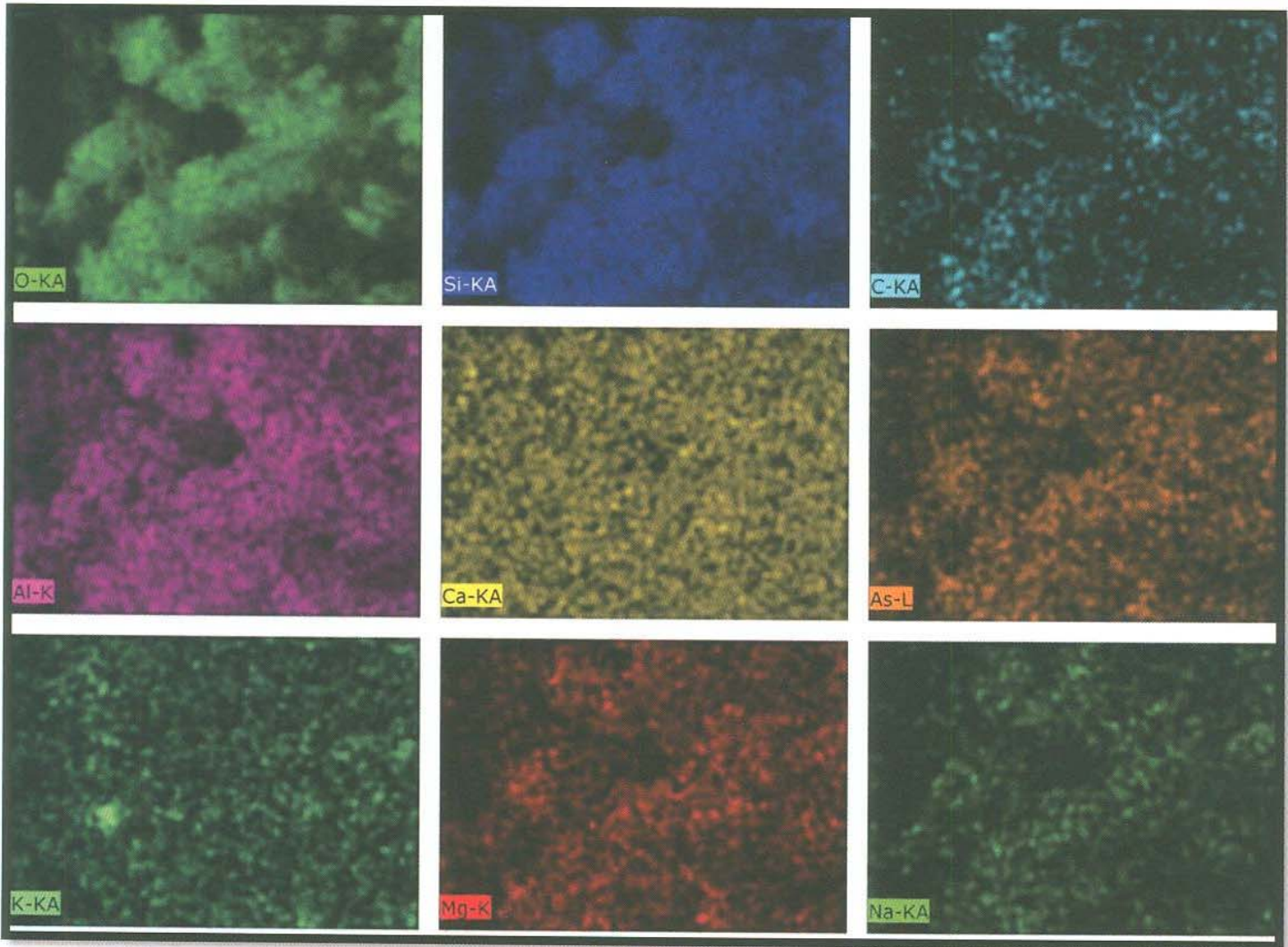


Figura 38. Imágenes con aumento de 6000x donde se puede apreciar de mejor manera el hábito tabular del mineral chabazita del grupo de las zeolitas. Rancho La Palma, Divisaderos.



Figuras 39. Imagen donde se observa mapeo químico correspondiente a la muestra de chabazita donde se muestran los elementos más representativos en la muestra.

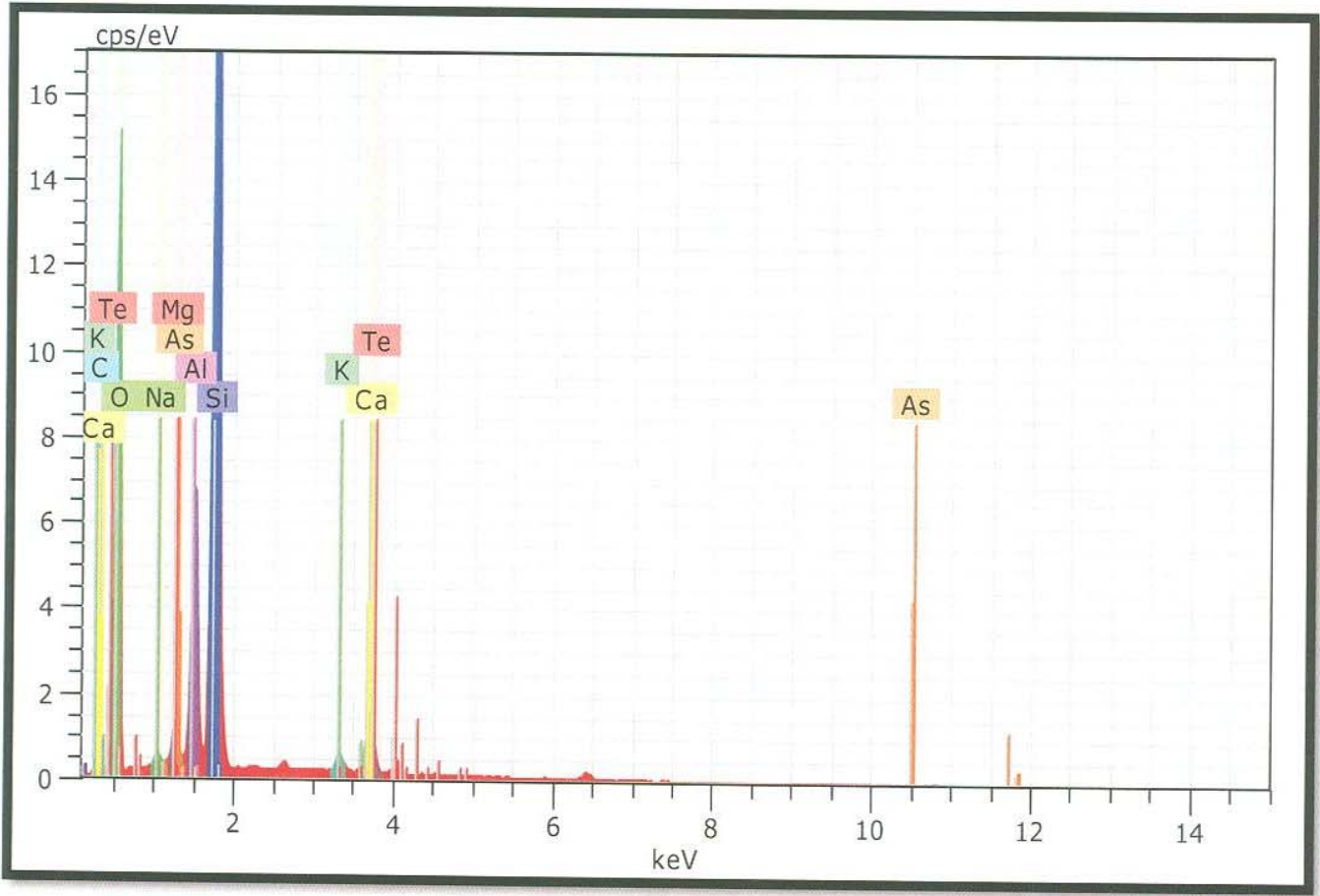


Figura 40. Imagen donde se observa el espectro de los principales elementos presentes en la muestra obtenidos por el mapeo químico.

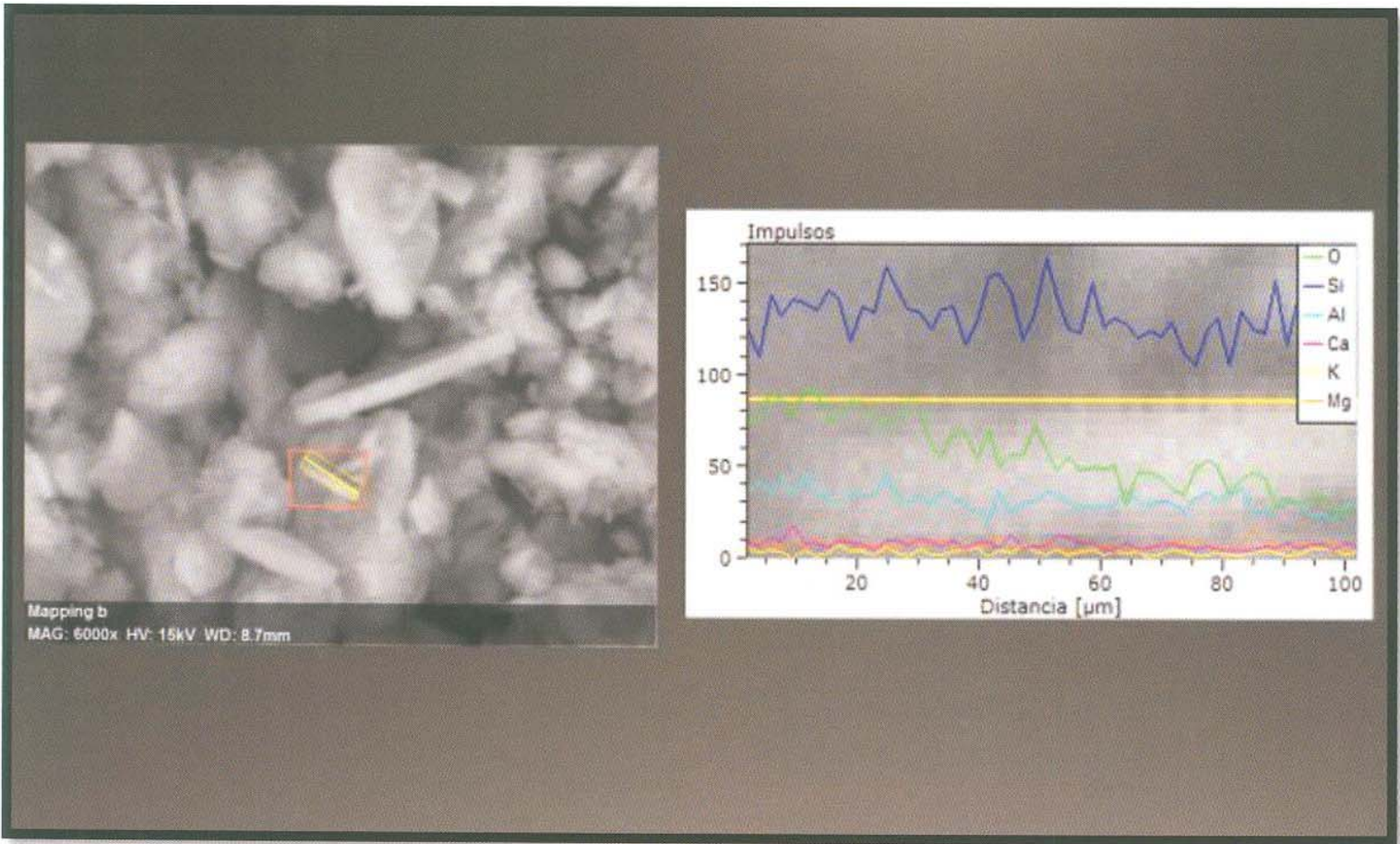


Figura 41. Imagen donde se muestra una sección realizada en la muestra para ver los impulsos en el espectro de la derecha sobre los elementos en esa área seleccionada.

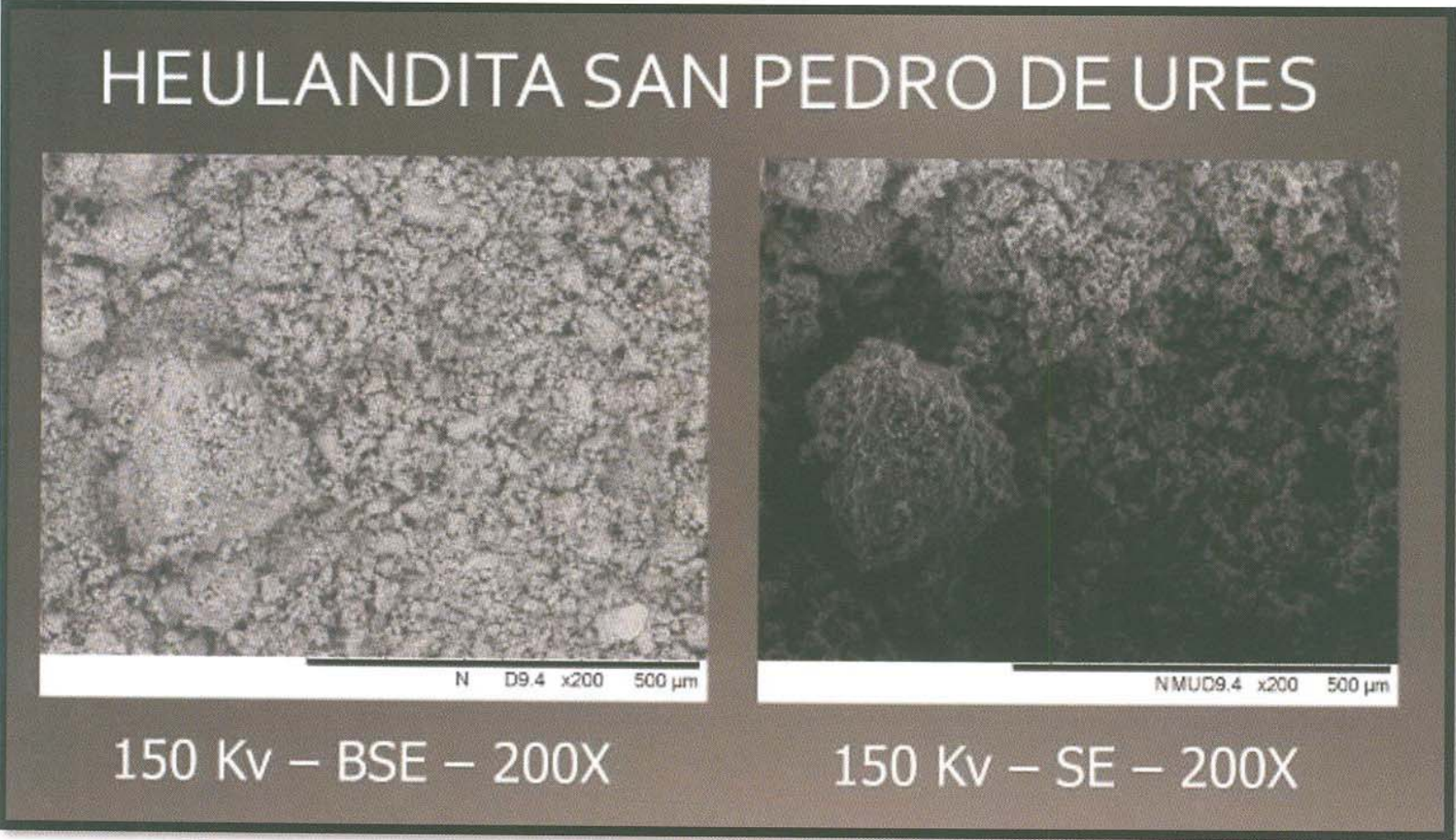


Figura 42. Imagen donde se muestra en sedimento la zeolita heulandita de San Pedro de Ures con electrones dispersados y secundarios a 200x.

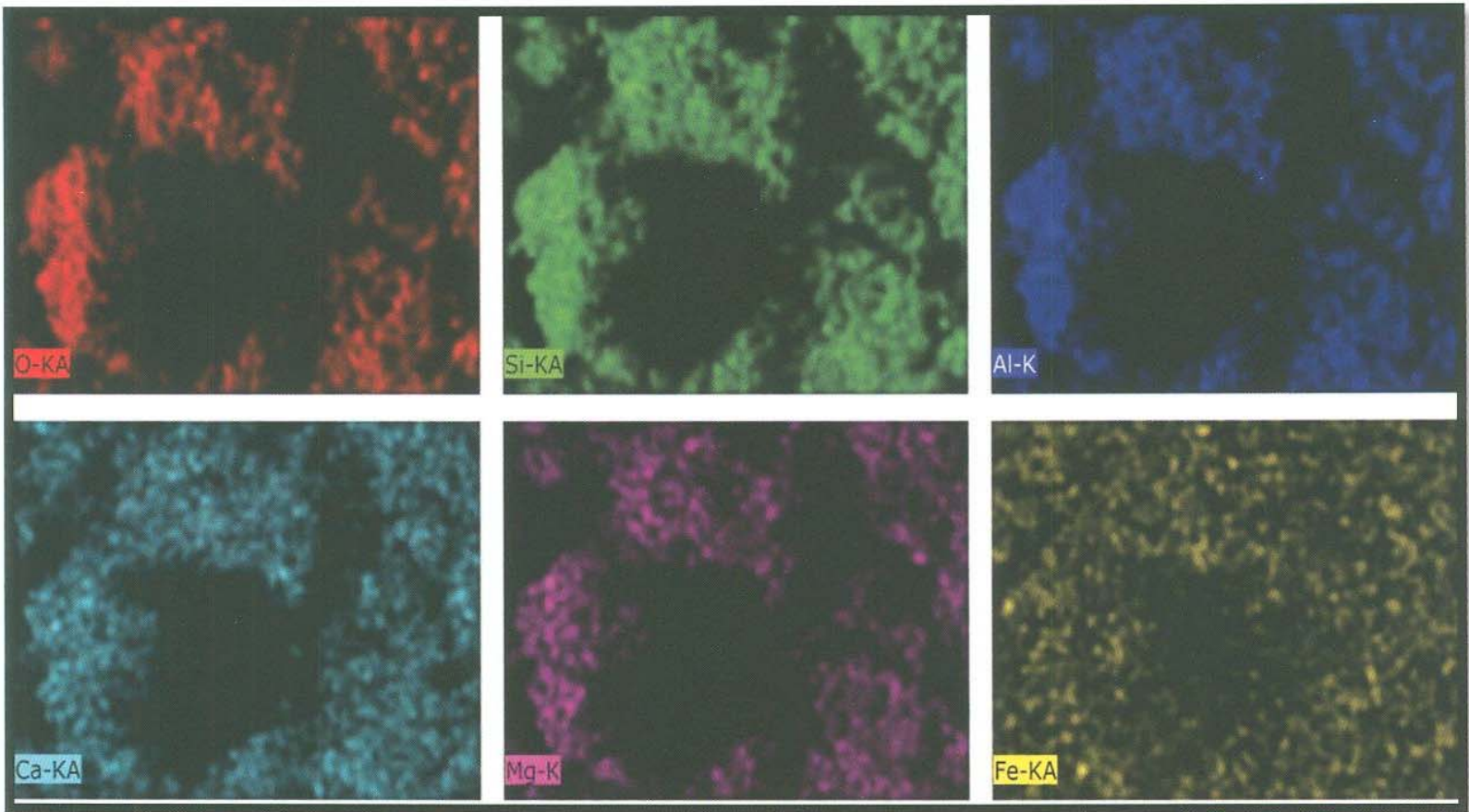


Figura 43. Imagen donde se muestra el mapeo químico semi cuantitativo de la muestra de zeolita heulandita.

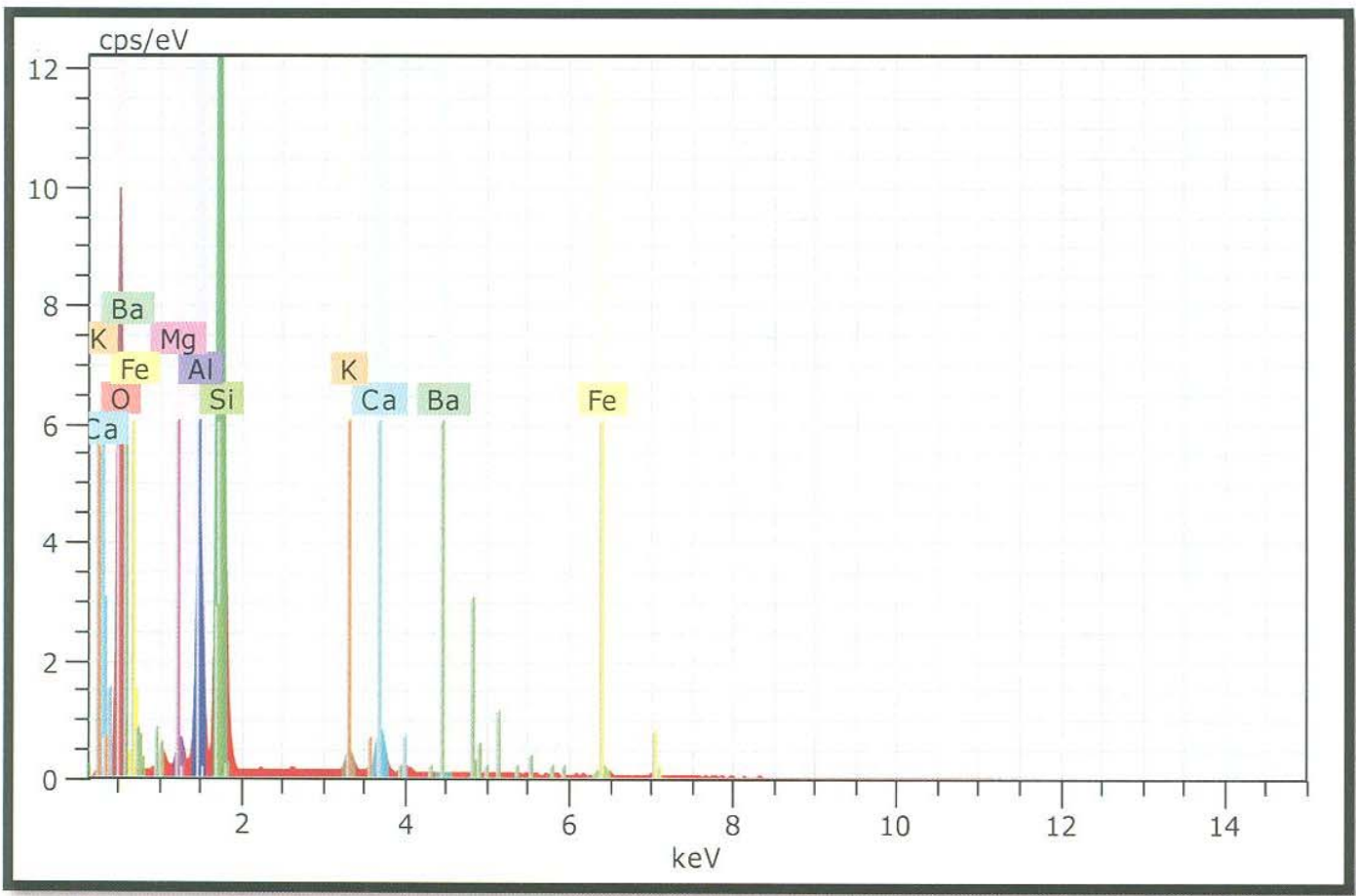


Figura 44. Imagen donde se observa el espectro de los principales elementos presentes en la muestra de zeolita.

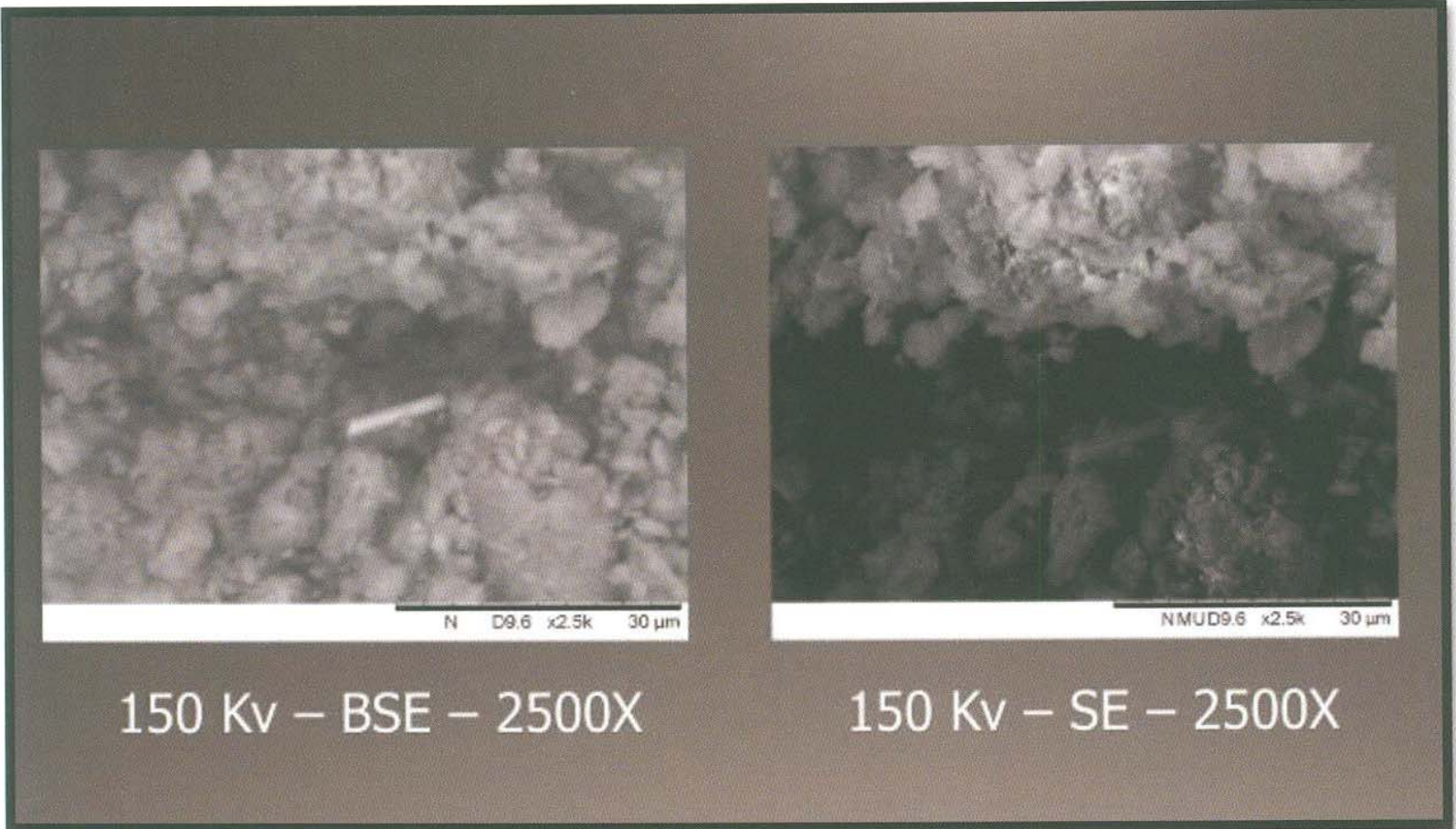


Figura 45. Imagen en vista de 2500x donde se muestra su hábito fibroso-tabular del mineral heulandita con electrones dispersados y secundarios.

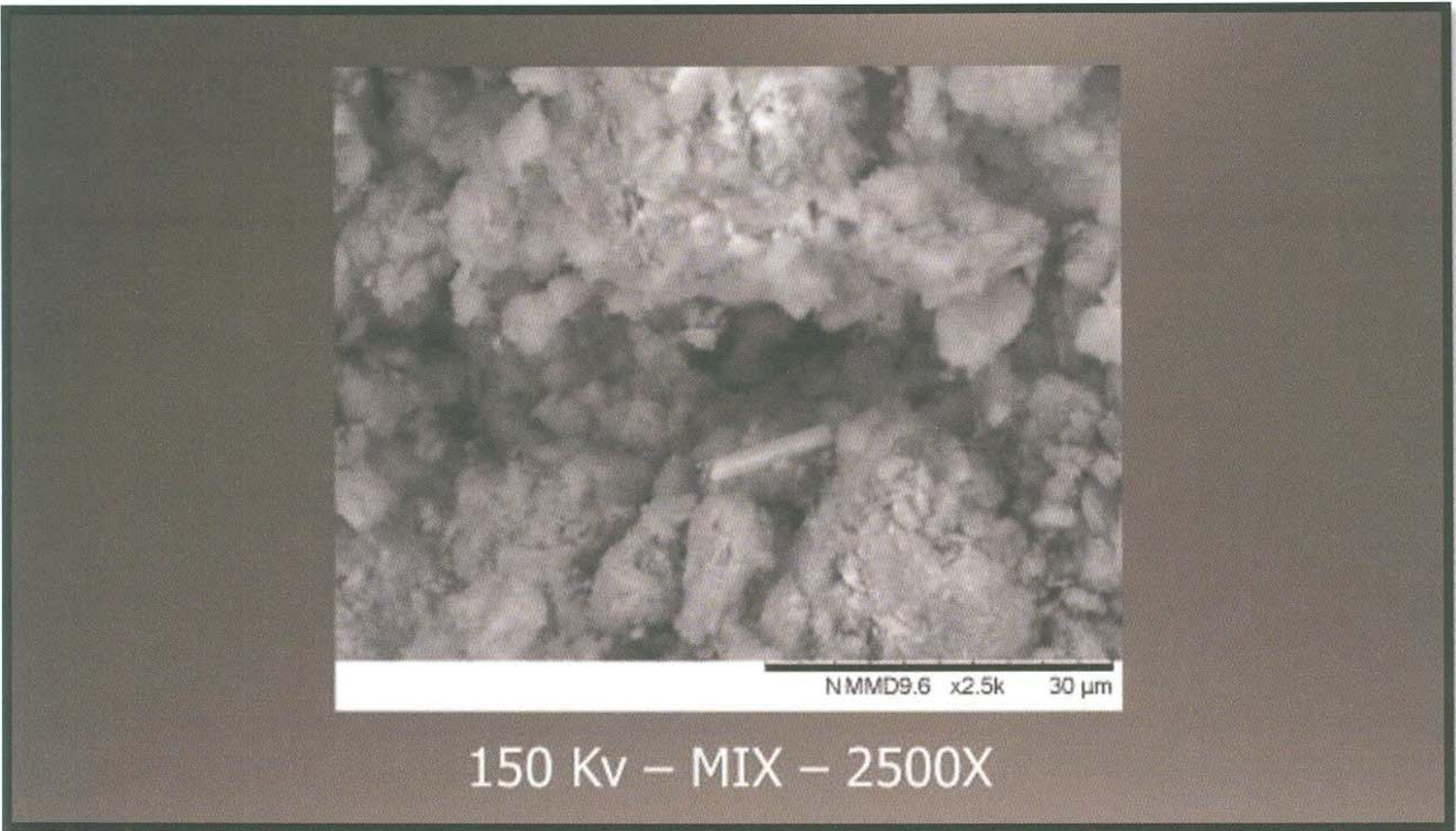


Figura 46. Imagen con resolución Mix donde se puede apreciar la forma tabular-fibrosa del mineral Heulandita en una vista de 2500x.

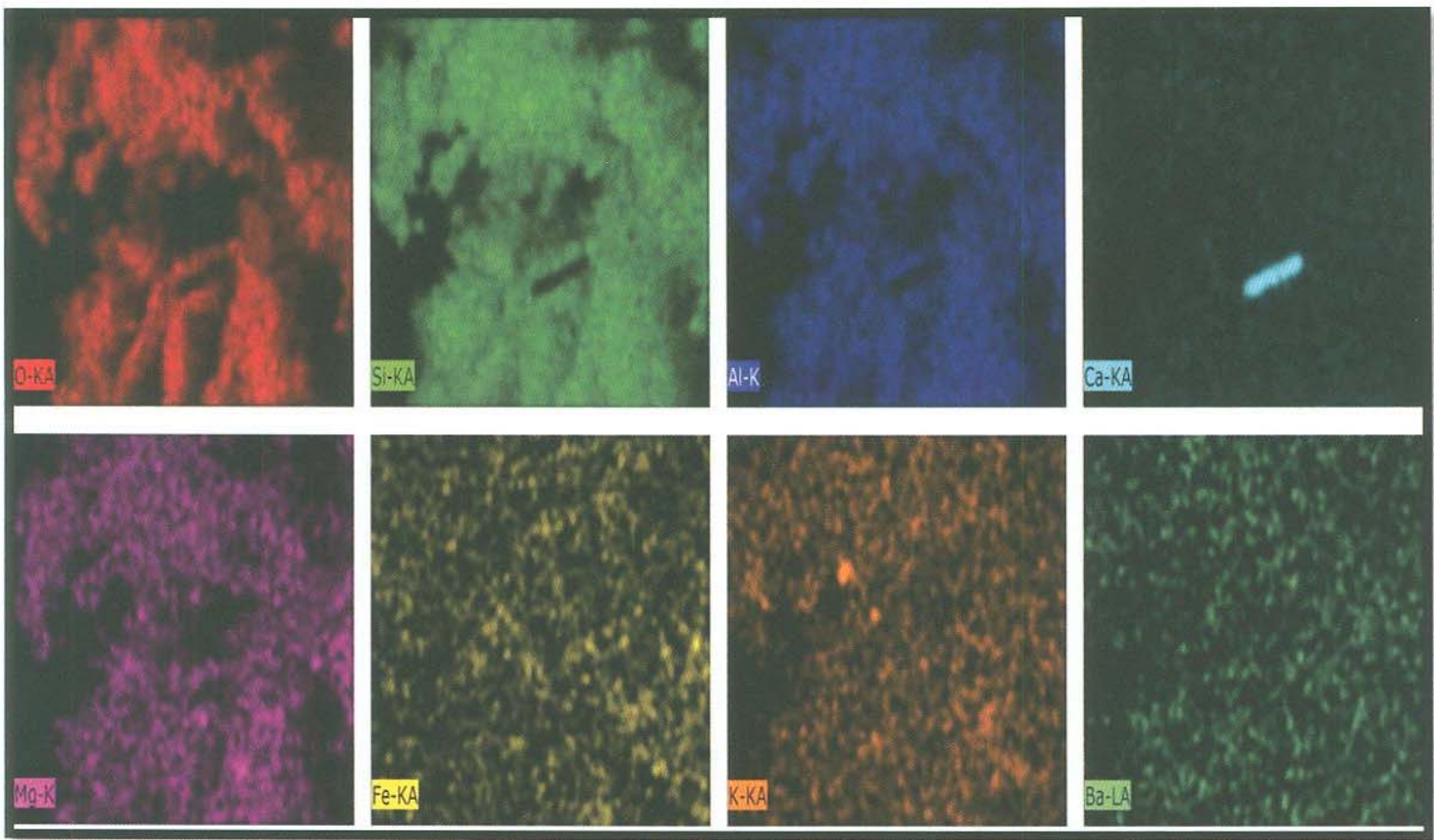


Figura 47. Imagen donde se muestra el mapeo químico semi-cuantitativo de la muestra de heulandita de San Pedro de Ures.

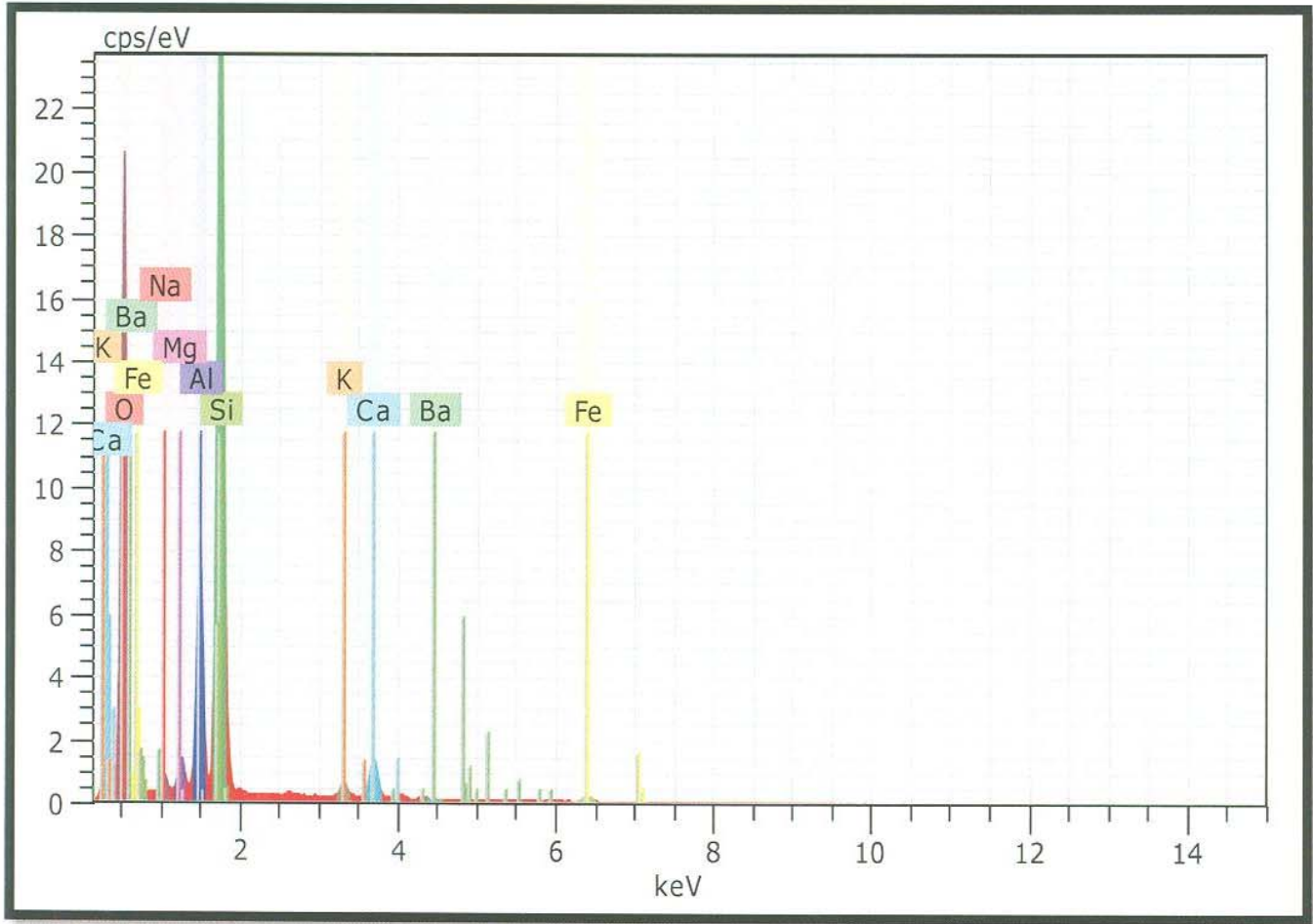


Figura 48. Imagen donde se observa el espectro de los principales elementos químicos presentes en la muestra de heulandita.

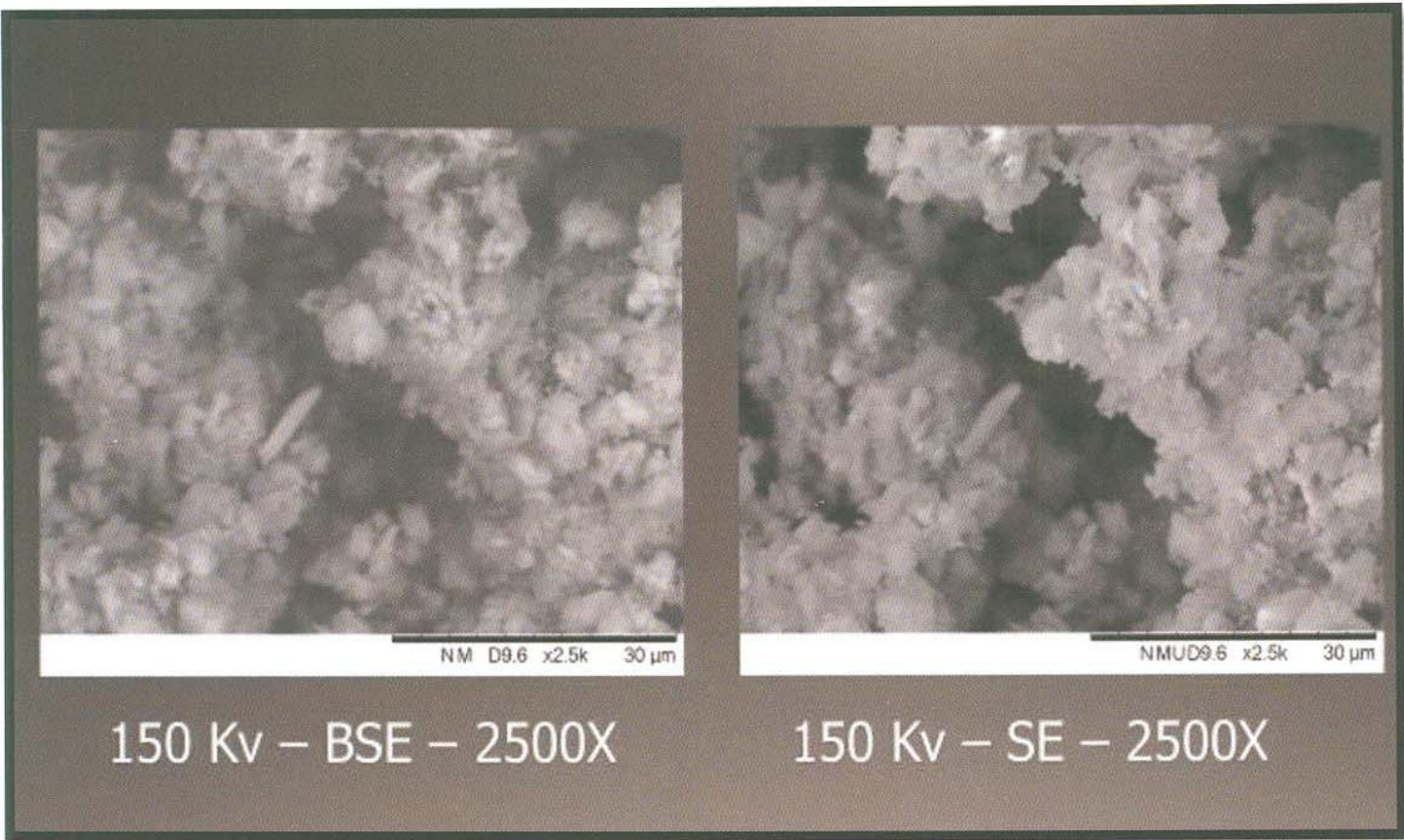


Figura 49. Imagen donde se muestra el mineral zeolita con una combinación entre su hábito tabular y su hábito fibroso-azucarado de la Heulandita de San Pedro de Ures.

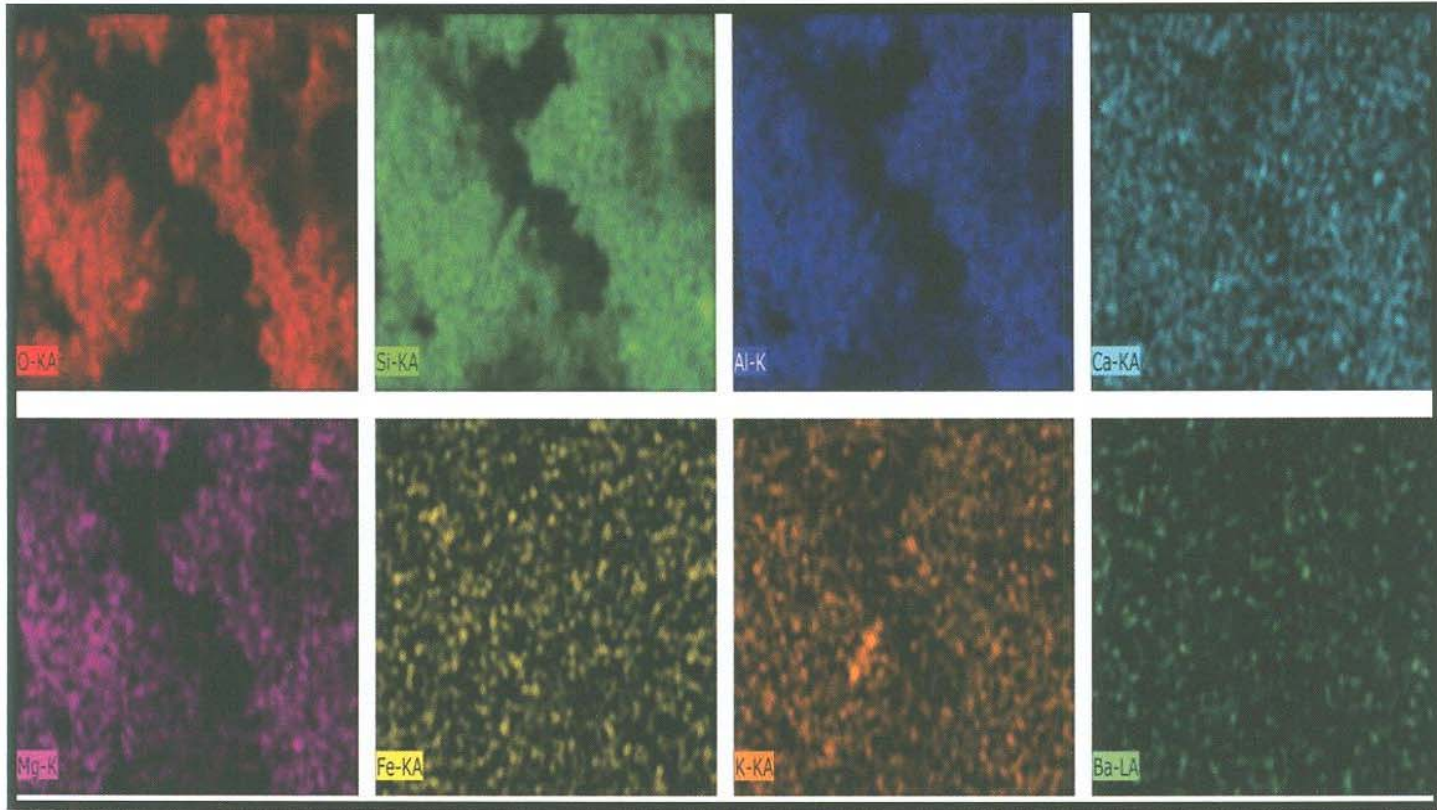


Figura 50. Imagen donde se muestra el mapeo químico semi-cuantitativo de la muestra de heulandita de San Pedro de Ures.

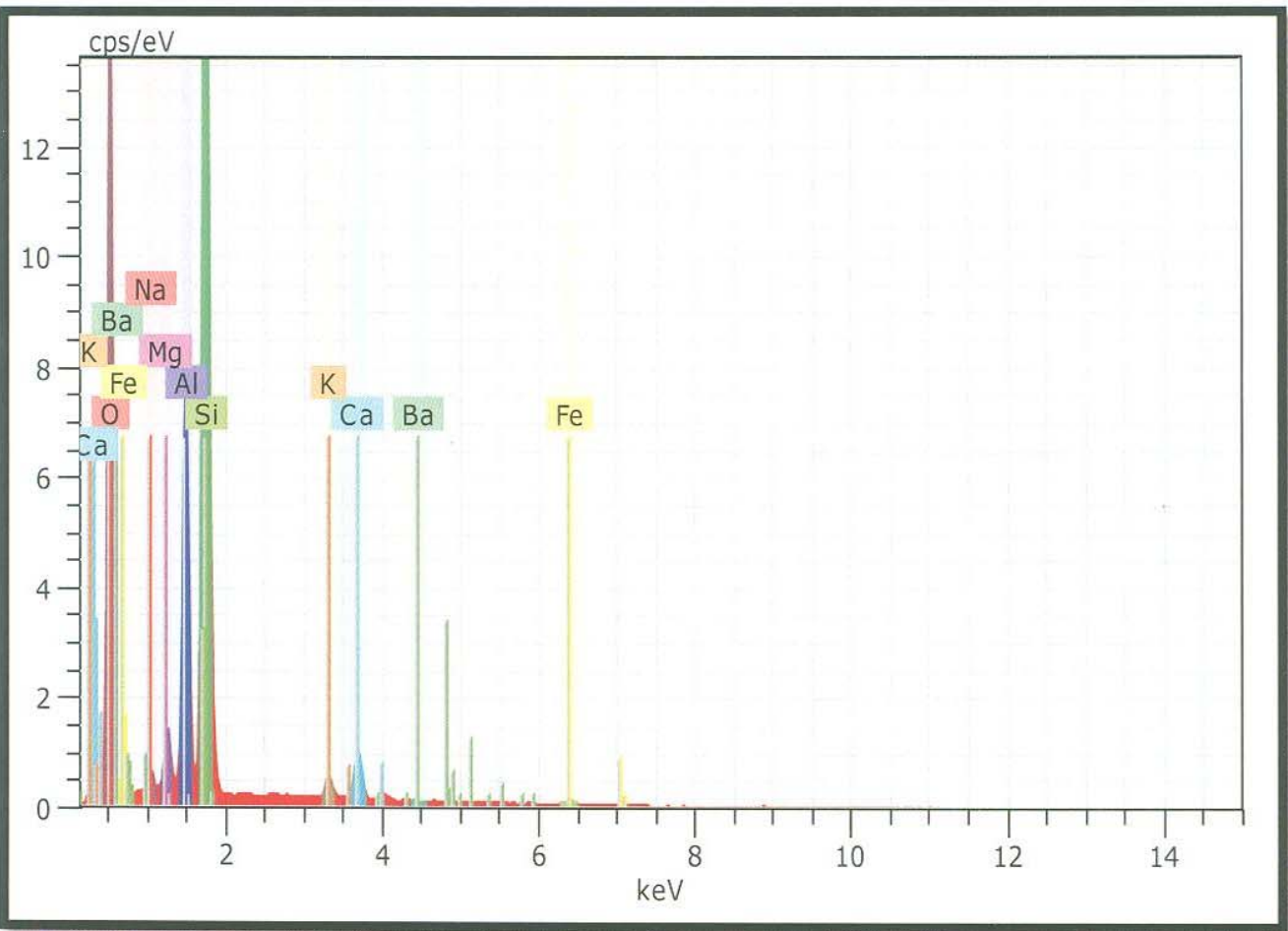
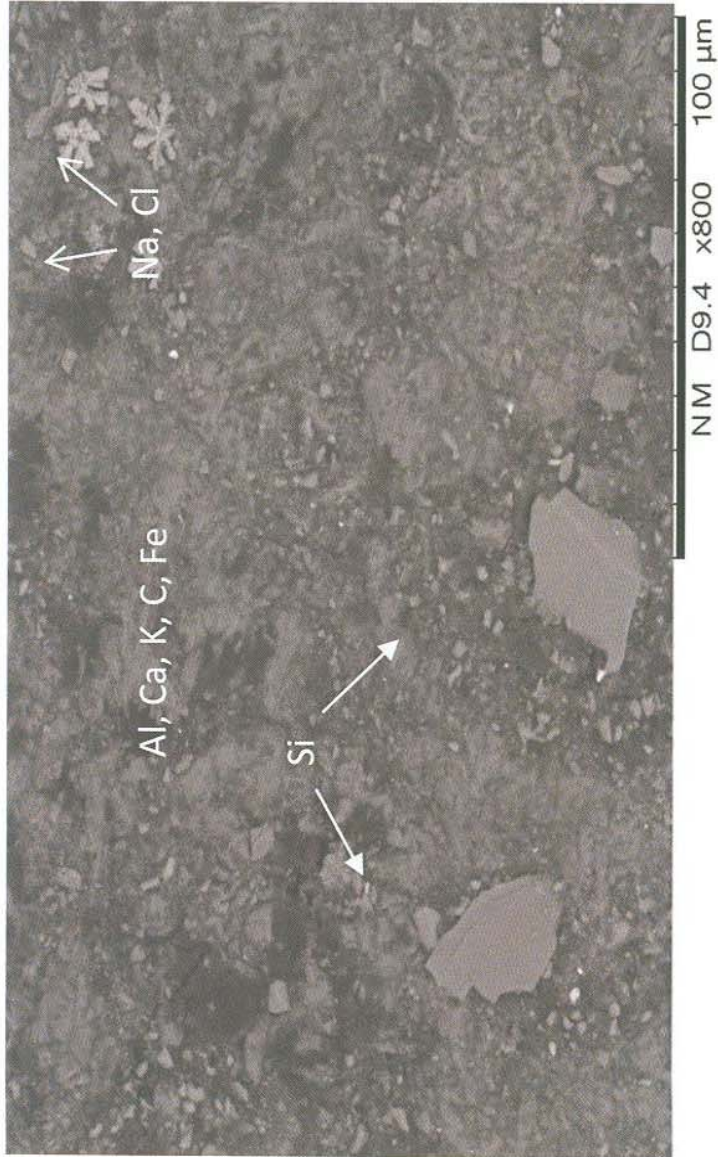


Figura 51. Imagen donde se observa el espectro de los principales elementos presentes en la muestra de zeolita.

Figura 52. Imágenes en SEM-EDS en lámina delgada Muestra P-4



(A Muestra P-4 15Kv BSE 800x

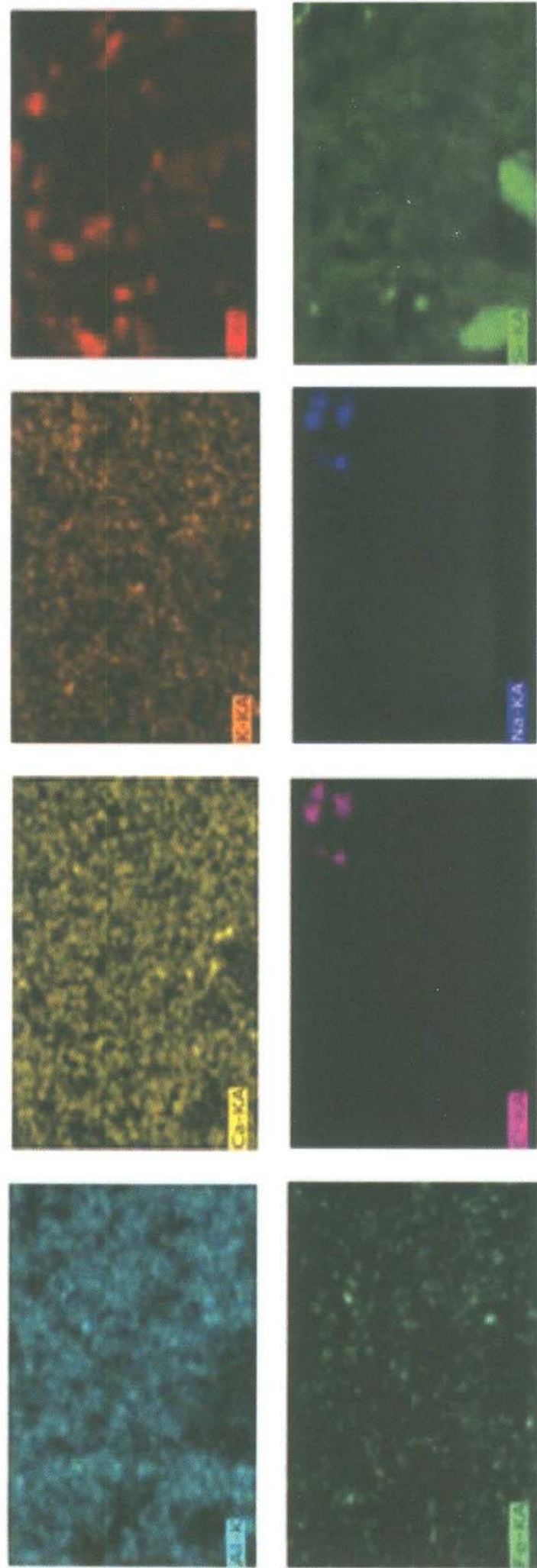
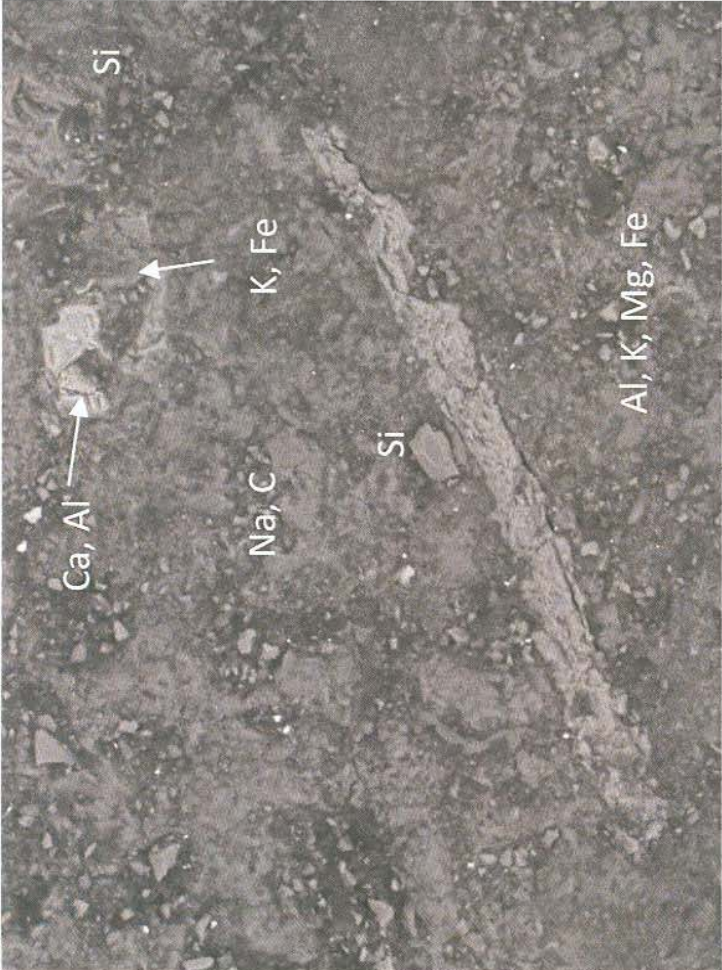


Figura 53. Imágenes en SEM-EDS en lámina delgada Muestra P-4



(B Muestra P-4 15 Kv BSE 800x

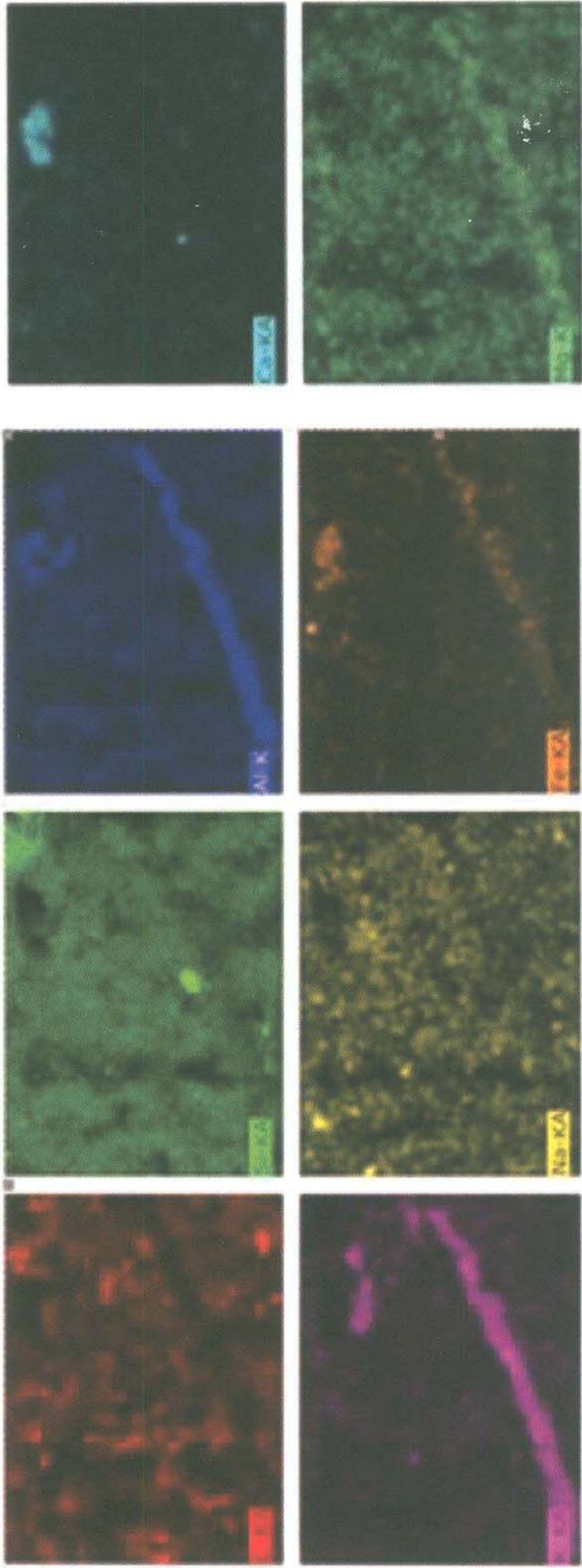
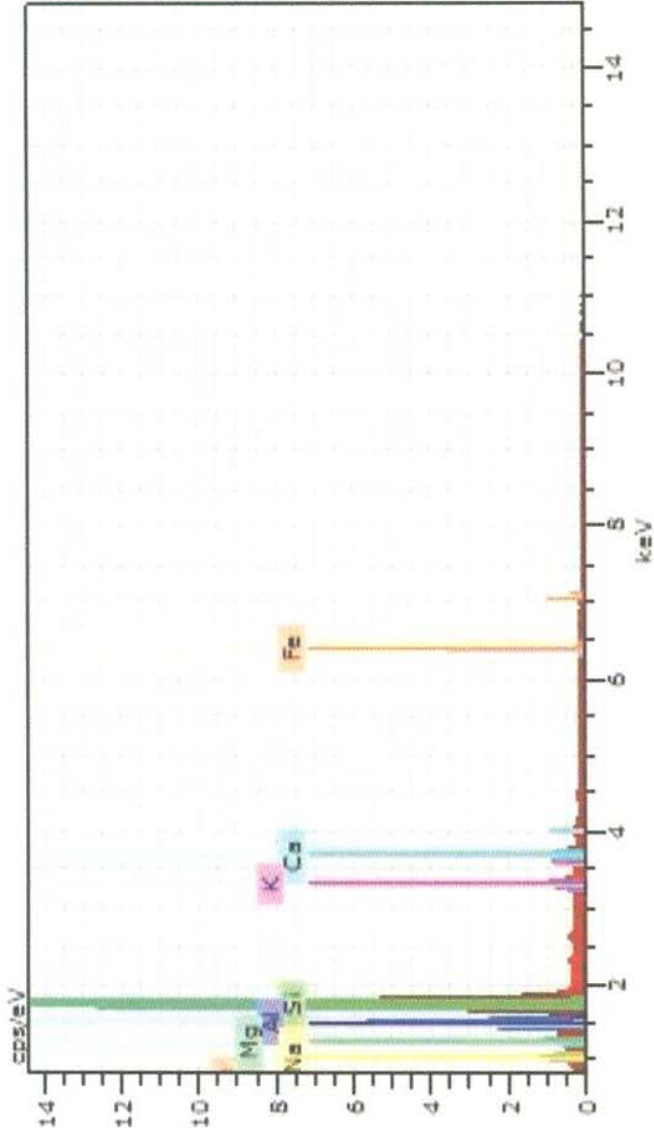


Figura 54. Imágenes en SEM-EDS en lámina delgada Muestra P-4

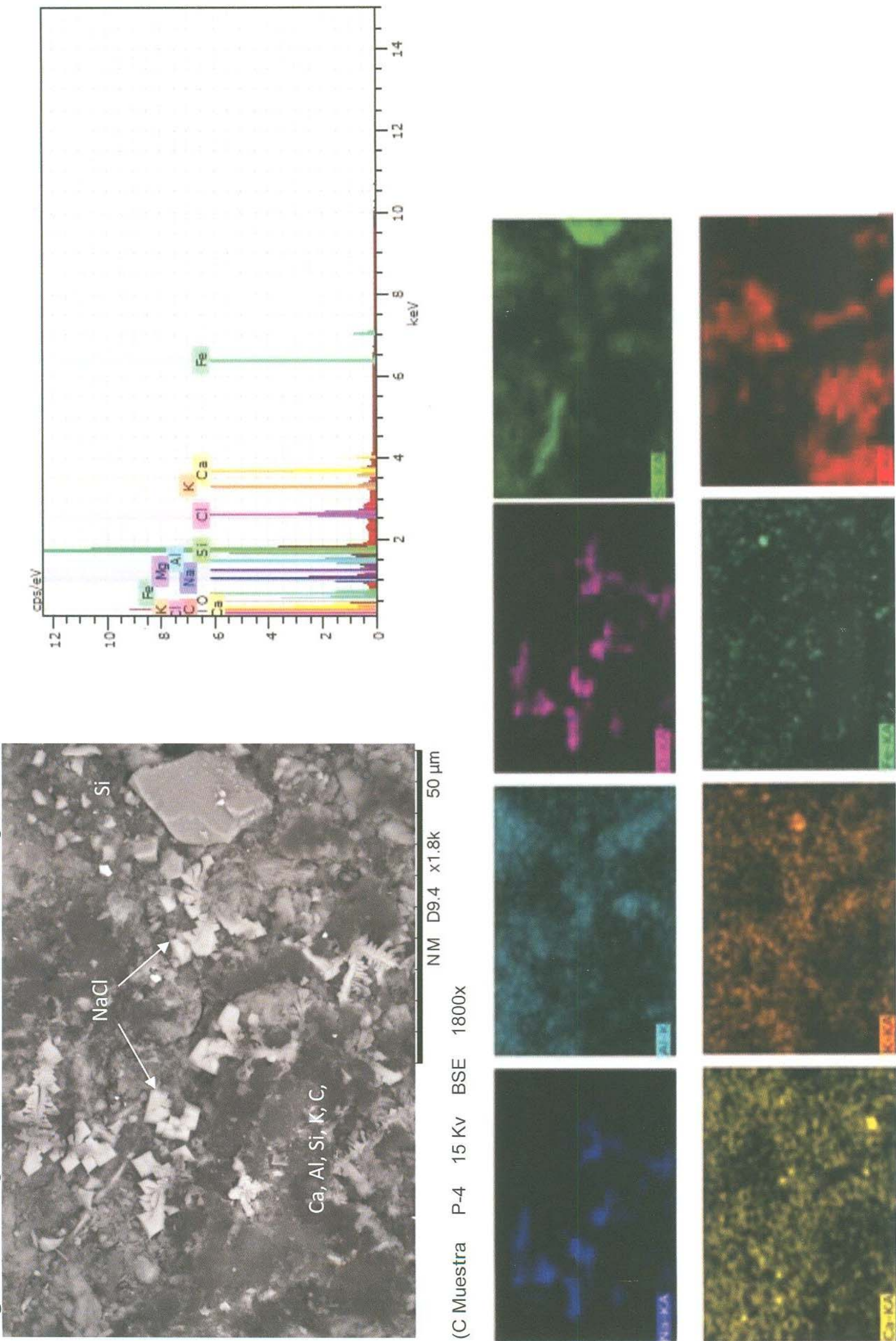
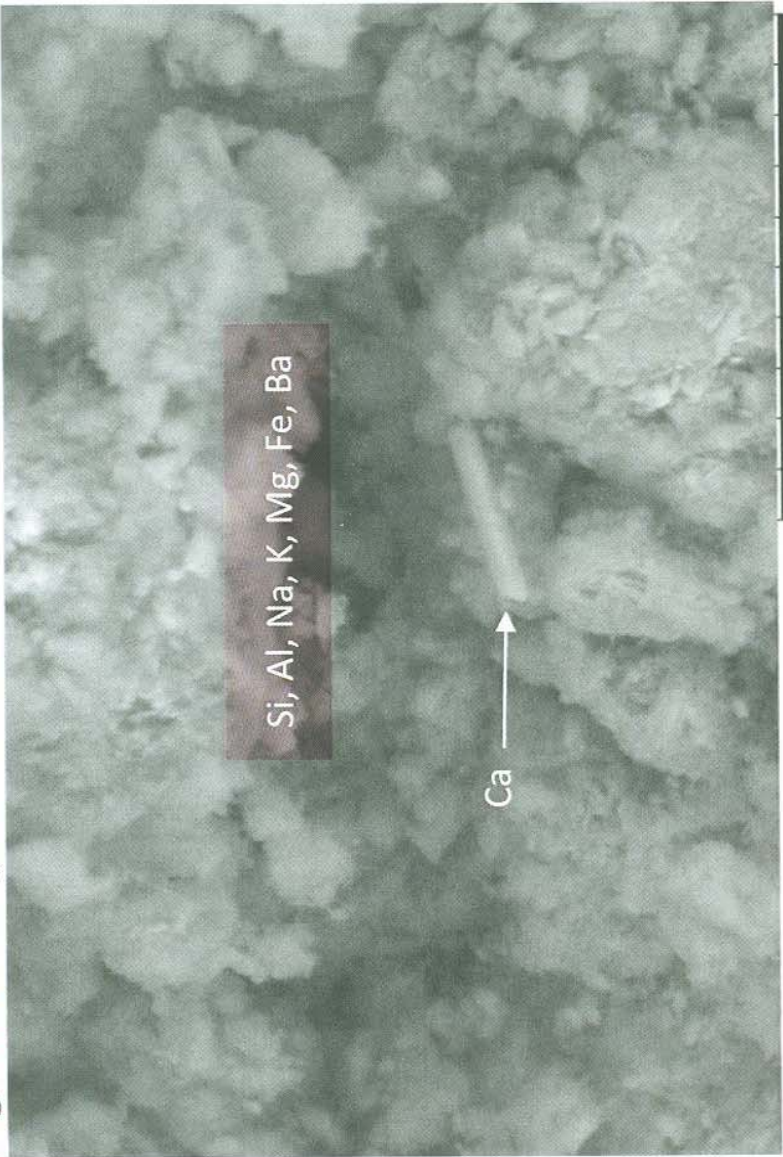


Figura 55. Imágenes en SEM-EDS en lámina delgada Muestra P-1



NMMD9.6 x2.5k 150 Kv MIX (BSE-SE) 2500x

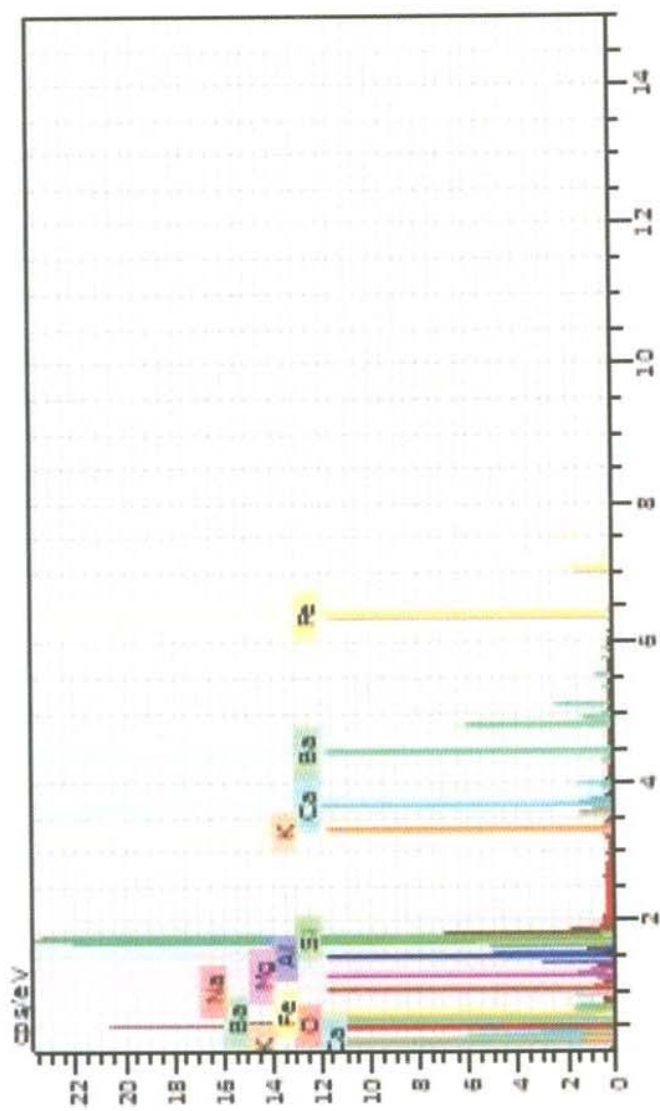
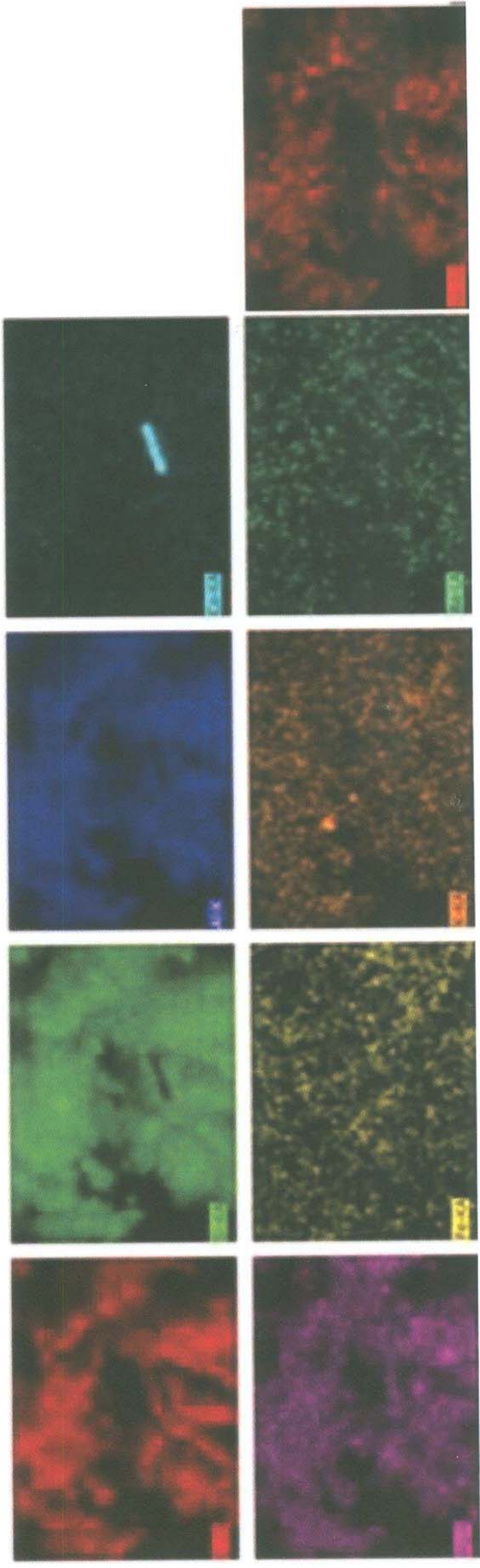
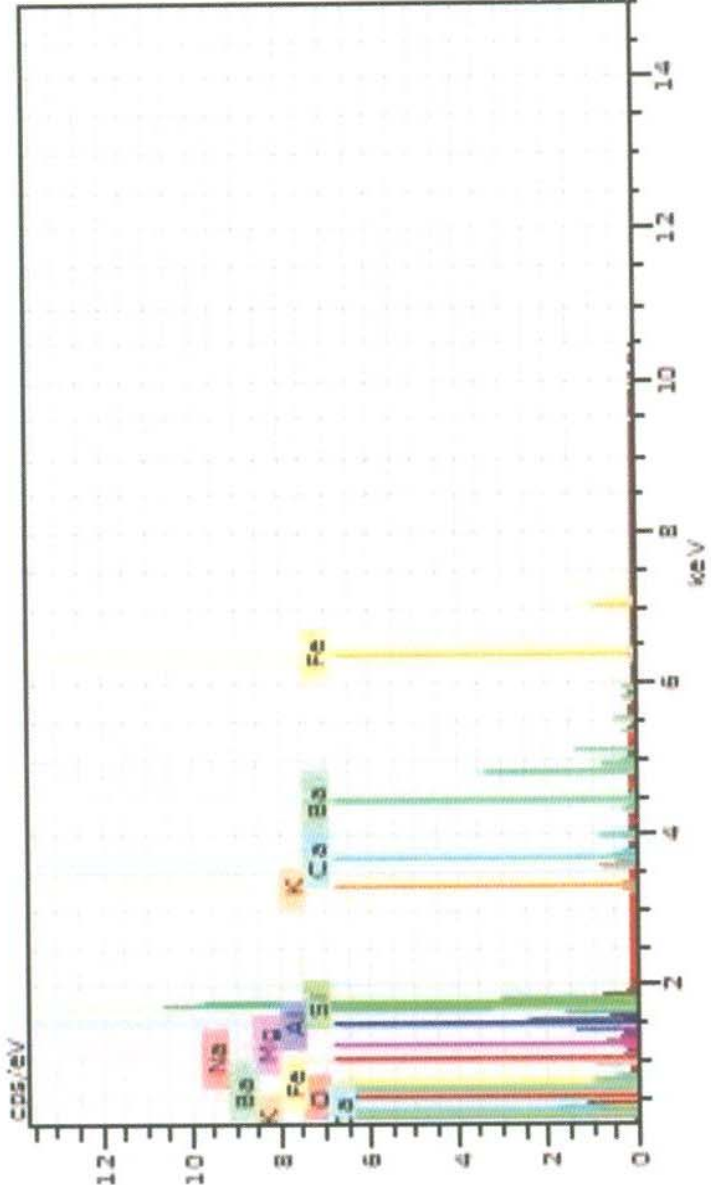
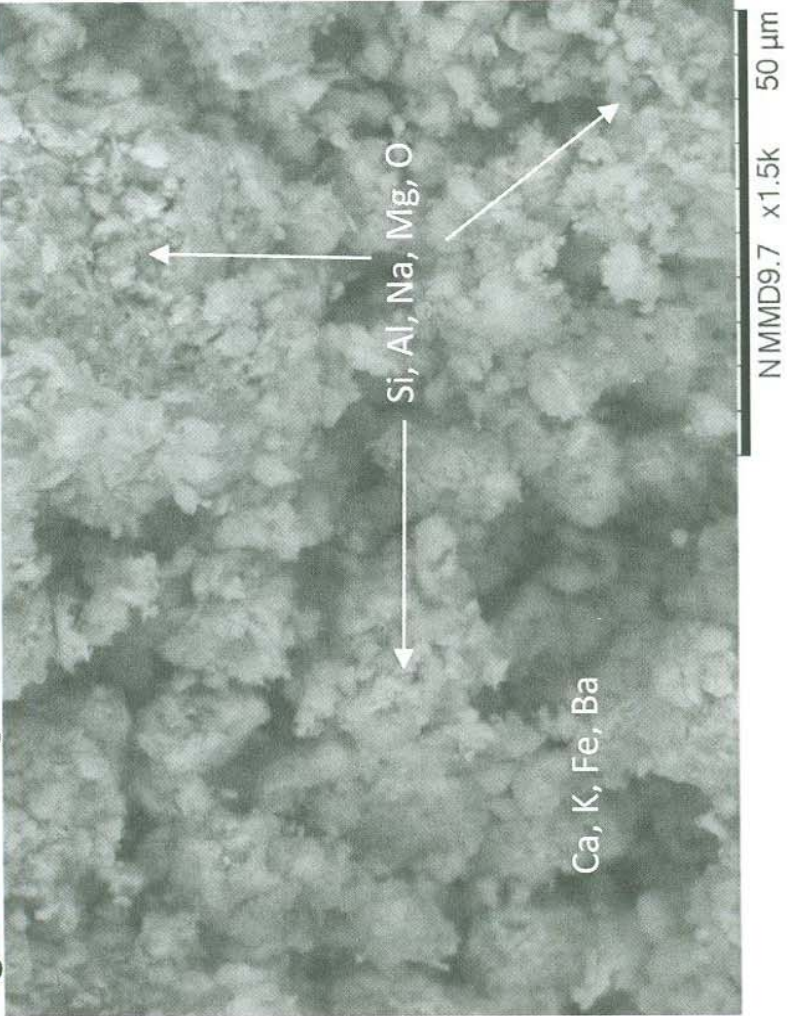


Figura 56. Imágenes en SEM-EDS en lámina delgada Muestra SPU-P2



(E Muestra P2 15 Kv MIX 1500x

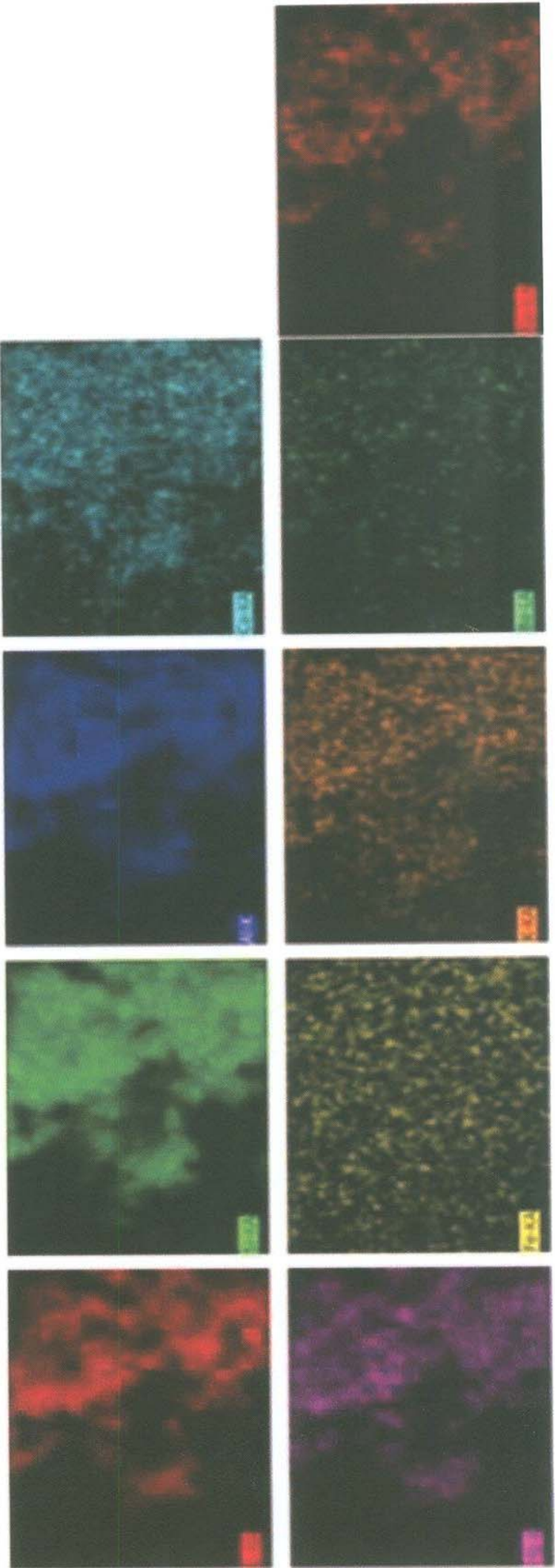
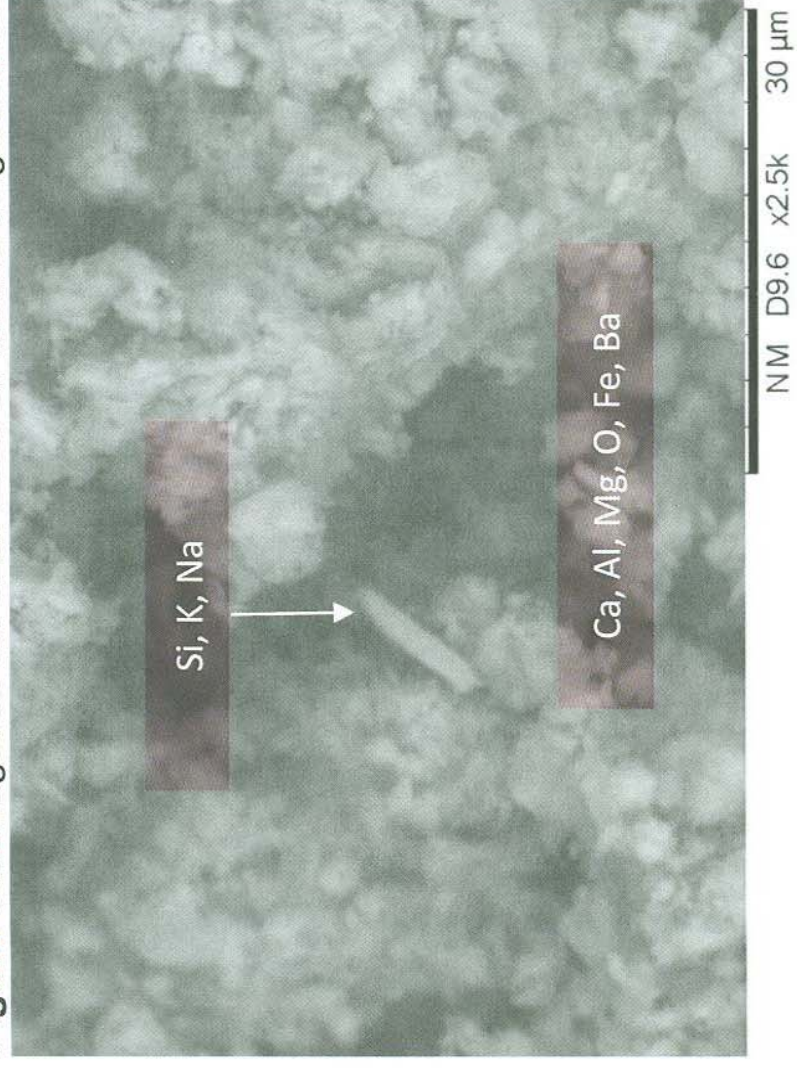
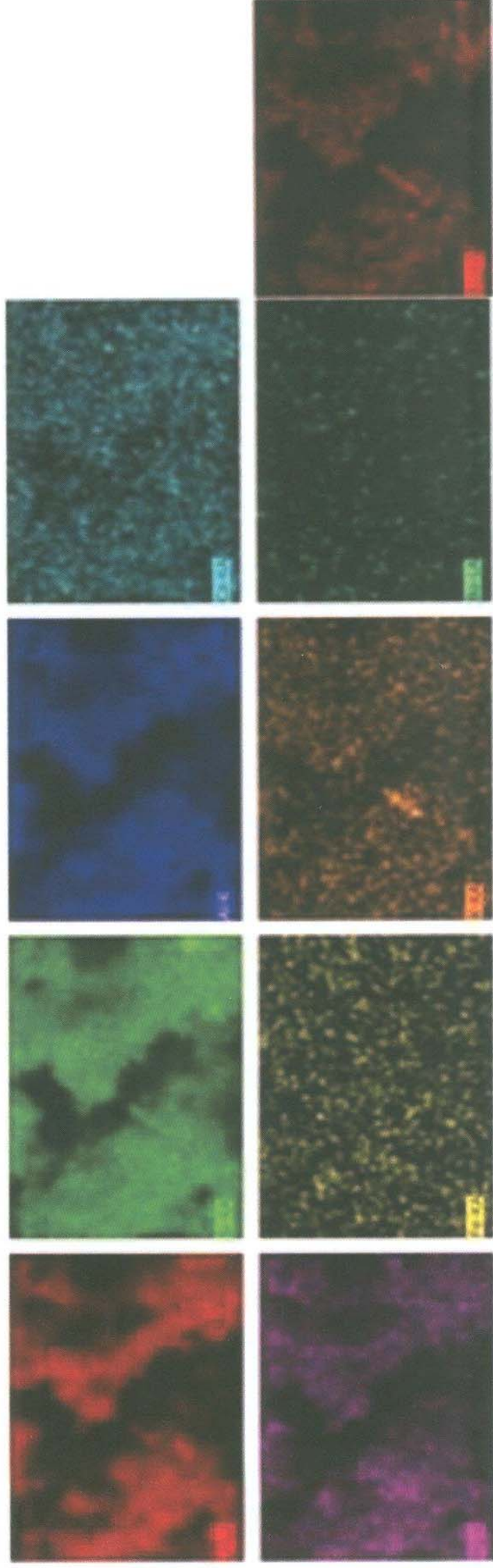
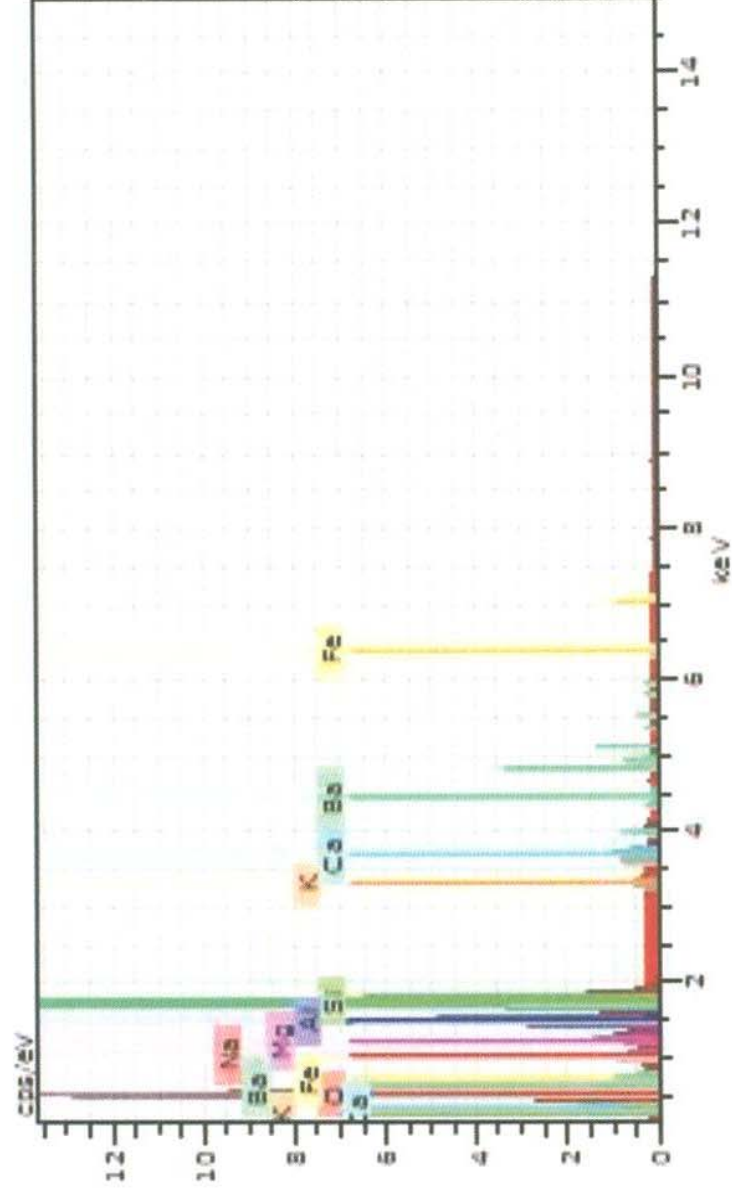


Figura 57. Imágenes en SEM-EDS en lámina delgada Muestra SPU-P2



(F Muestra SPU-P2 150 Kv BSE 2500x



Discusión

Con las imágenes observadas anteriormente podemos concluir que debido a la composición química que presentan los 2 minerales puede ser poco conveniente para las dos localidades la ingesta e inhalación del mineral, ya que la zeolita del rancho La Palma Divisaderos contiene Arsénico potencialmente tóxico dentro de su química además de agregar que la zeolita de San Pedro de Ures contiene Uranio y Bario lo cual lo hace más peligrosa ya que en época de lluvia los afloramientos se intemperizan y pueden llevar estos iones en solución, infiltrarse en aguas subterráneas y poder llegar a los pozos cercanos a la localidad.

Las zeolitas heulandita, chabazita y phillipsita se han reportado potencialmente dañinas para el ser humano (de Pablo et al., 2014), pero ninguna ha sido relacionada con algún tipo de cáncer como el mesotelioma provocado por la erionita. La heulandita presenta un hábito fibroso-tabular a comparación de la erionita que es más peligroso su hábito fibroso o fibroradial muy similar al asbesto, por lo que no se descarta que la heulandita pueda provocar problemas respiratorios.

De momento no se cuenta con una base de datos sobre la mortandad de los habitantes de San Pedro de Ures por lo que no se puede atribuir que alguna enfermedad fuera provocado por el mineral, es por ello que es necesario implementar y expandir el estudio de las zeolitas ya que puede ser uno de los factores que esté afectando a varias localidades sin haberlo detectado.

6.5. Principales corrientes

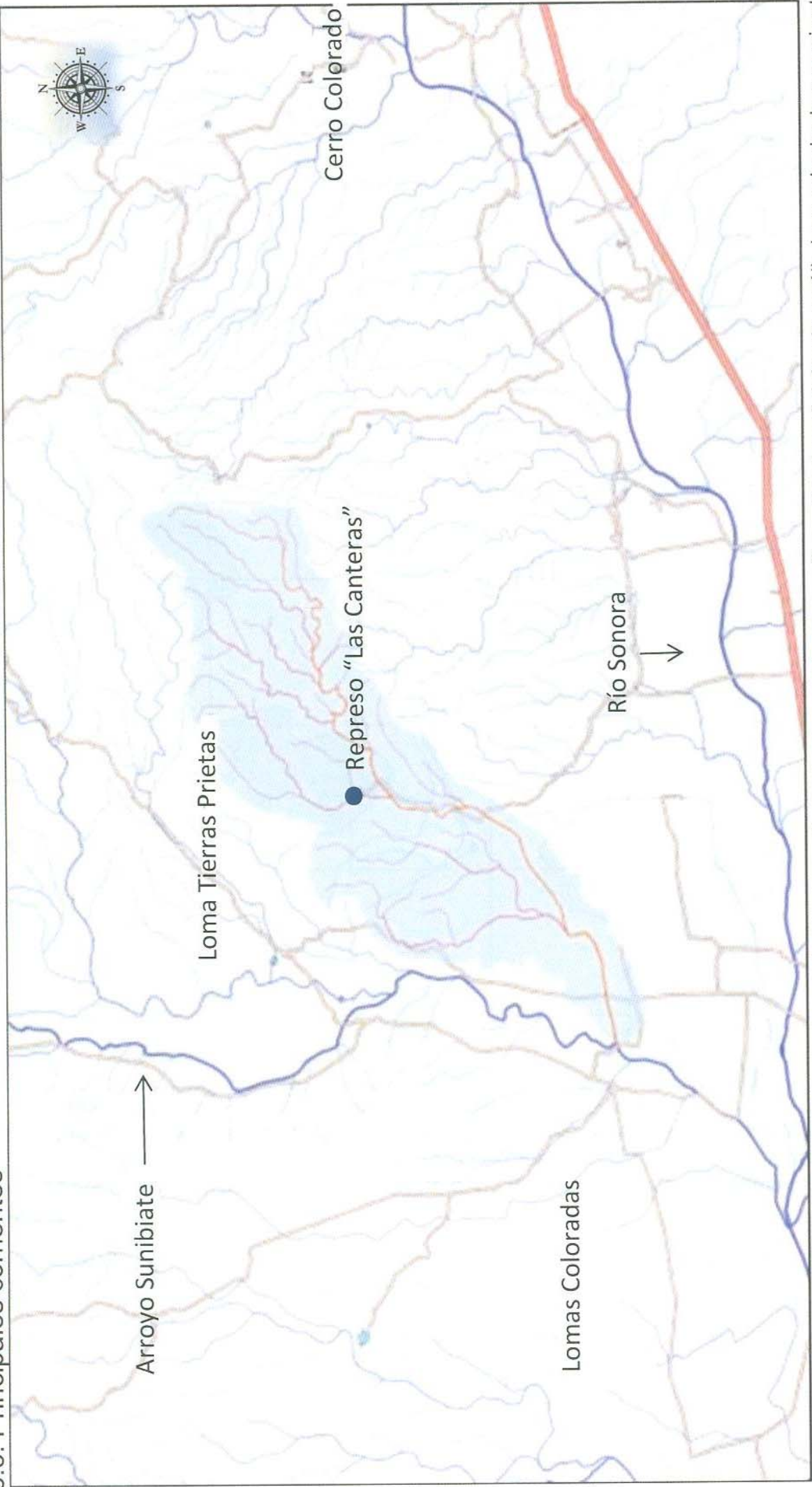


Figura 58. Imagen donde se muestra la microcuenca y el principal afloramiento en el represo “Las Canteras” (círculo azul). Las principales corrientes que drenan la localidad de San Pedro de Ures de norte a sur es el arroyo Sunibiate y de este a oeste el Río Sonora.

6.7 Sección en campo

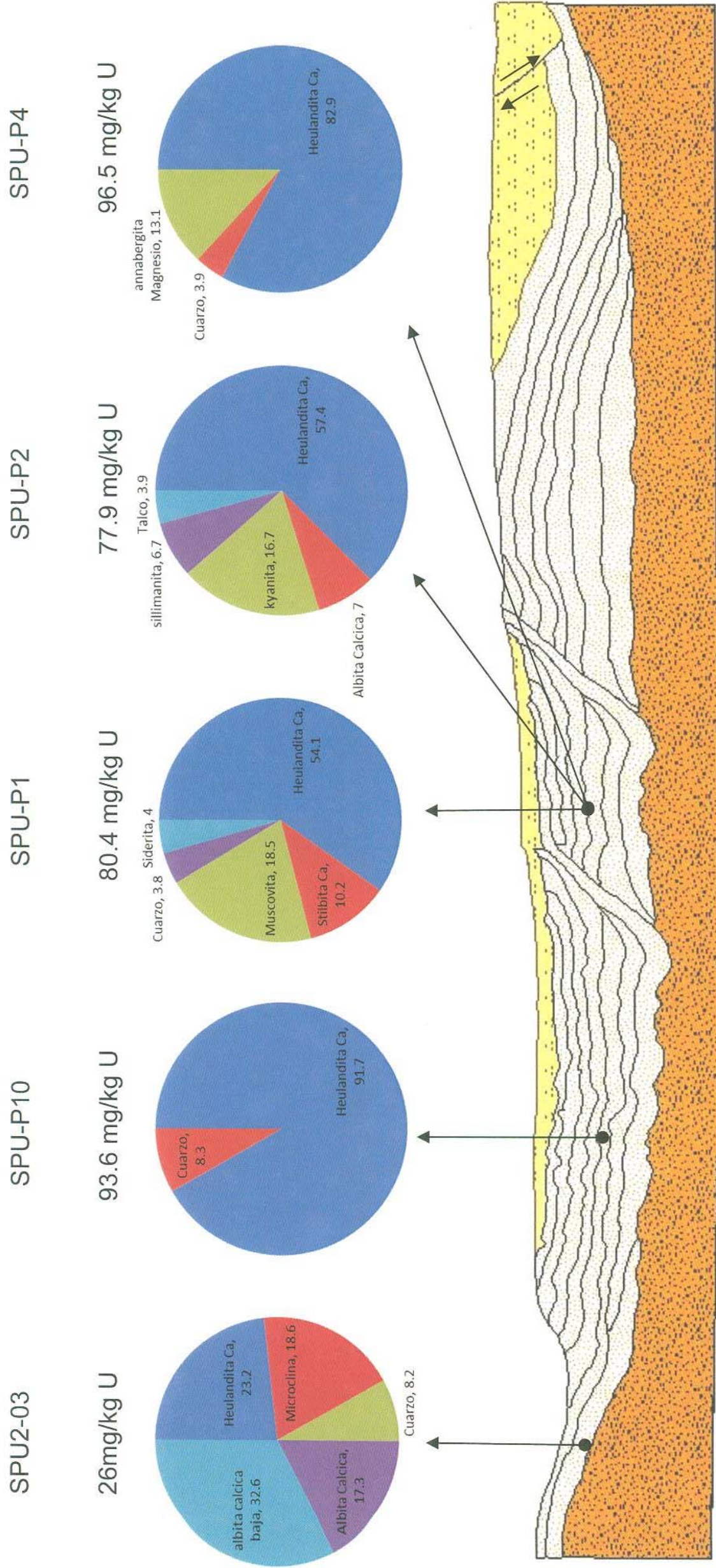


Figura 60. Imagen donde se observa el perfil topográfico del depósito de zeolita, en la base se encuentra un conglomerado polimictico con fragmentos volcánicos y matriz arenosa, en la parte superior tenemos las capas de zeolita heulandita y en la cima un conglomerado semi-consolidado levemente zeolitizado. En los diagramas circulares se puede observar la variación en el porcentaje de heulandita y el contenido de uranio en cada una de las muestras (vista al NW).

7. Resultados

- ❖ Se confirma la existencia de la zeolita heulandita en el área de depósito.
- ❖ Se realizó el levantamiento de los principales afloramientos dentro del área de estudio.
- ❖ Se analizaron las 16 muestras pulverizadas y en láminas delgadas por los métodos analíticos de DRX, SEM y PXRF.
- ❖ Y se concluye, que las zeolitas de Sonora son características de un ambiente volcánico continental.

8. Recomendaciones

- ❖ Evaluar el volúmen del depósito.
- ❖ Hacer comparación de la zeolita de San Pedro de Ures con la zeolita de San José de Gracia y zonas aledañas.
- ❖ Buscar un uso para la zeolita heulandita de San Pedro de Ures.
- ❖ Realizar censo para diagnosticar alguna enfermedad relacionada con la heulandita.

Regulaciones ambientales.

Las zeolitas naturales son relativamente inofensivas y no presentan problemas ambientales particulares, en caso del minado del depósito se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ❖ Varios minerales de zeolita tienen formas fibrosas y pueden comportarse como materiales de asbesto. (Erionita)
- ❖ Los cristales de silicio fino se generan usualmente en depósitos de zeolita y los productos finos pueden ser respirados (0.1%).
- ❖ El minado de la zeolita y las plantas procesadoras secas tienden a generar polvos, ocasionando problemas en la calidad del aire.
- ❖ Los minerales zeolita no se analizan regularmente por elementos tóxicos poco comunes como el uranio, por lo que se debe tomar en cuenta ya que es un elemento radioactivo y tóxico en altas concentraciones para el ser humano.
- ❖ Se sugiere hacer una caracterización más completa para este grupo de minerales por su gran capacidad de captación de elementos químicos dañinos para el consumo humano.

9. Bibliografía

- Adamis, Z., Tatrai, E., Honma, K., Six, E., & Ungvary, G. (2000). In vitro and in vivo tests for determination of the pathogenicity of quartz, diatomaceous earth, mordenite and clinoptilolite. *Annals of Occupational Hygiene*, 44(1), 67-74
- Adem, M., Sani, T., Chebude, Y., Fetter, G., Bosch, P., & Diaz, I. (2015). Comparison of the defluoridation capacity of zeolites from Ethiopia and Mexico. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 29(1), 53-62.
- Aghadavoud, A., Rezaee Ebrahim Saraee, K., Shakur, H. R., & Sayyari, R. (2016). Removal of uranium ions from synthetic wastewater using ZnO/Na-clinoptilolite nanocomposites. *Radiochimica Acta*, 104(11), 809-819.
- Aguilar-Madrid, G., Robles-Pérez, E., Juárez-Pérez, C. A., Alvarado-Cabrero, I., Rico-Méndez, F. G., & Javier, K. G. (2010). Case-control study of pleural mesothelioma in workers with social security in Mexico. *American journal of industrial medicine*, 53(3), 241-251.
- Alvarado Ibarra, J., Sotelo Lerma, M., Meza Figueroa, D., Maubert Franco, M., MORENO, P., & Abraham, F. (2013). Evaluación de la potencialidad de una chabasita natural mexicana en la remoción de plomo en agua. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(2), 201-210.
- Bakatula, E. N., Molaudzi, R., Nekhunguni, P., & Tutu, H. (2017). The Removal of Arsenic and Uranium from Aqueous Solutions by Sorption onto Iron Oxide-Coated Zeolite (IOCZ). *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(1), 5.
- Bosch, P., Schifter, I. (1997). La zeolita una piedra que hierve. Fondo de Cultura Económica de México. 73 p.
- Bowen, H. J. M. (1979). Environmental chemistry of the elements, Acad. Press, London, 63.
- Camacho, L. M., Deng, S., & Parra, R. R. (2010). Uranium removal from groundwater by natural clinoptilolite zeolite: effects of pH and initial feed concentration. *Journal of hazardous materials*, 175(1), 393-398.
- Carbone, M., Baris, Y. I., Bertino, P., Brass, B., Comertpay, S., Dogan, A. U., & Pass, H.I. (2011). Erionite exposure in North Dakota and Turkish villages with mesothelioma. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(33), 13618-13623.
- Cattaneo, A., Rossotti, A., Pasquarè, G., Somigliana, A., & Cavallo, D. M. (2011). Analysis of fibrous zeolites in the volcanic deposits of the Viterbo Province, Italy. *Environmental Earth Sciences*, 63(4), 861-871.

- Cochemé, J. J., Lassauvagerie, A. C., Gonzalez-Sandoval, J., Perez-Segura, E., & Münch, P. (1996). Characterisation and potential economic interest of authigenic zeolites in continental sediments from NW Mexico. *Mineralium Deposita*, 31(6), 482-491.
- Costafreda Mustelier, J. L. (2011). Tectosilicatos con características especiales: las zeolitas naturales.
- Demuth, T., Benco, L., Hafner, J., & Toulhoat, H. (2001). Adsorption of water in mordenite—An ab initio study. *International Journal of Quantum Chemistry*, 84(1), 110-116.
- de Pablo, L., Doval, M., La Iglesia, A., & Soriano, J. (2014). CaK-clinoptilolita, KNa-chabazita, KNa-heulandita, KNa-erionita y Na-phillipsita de rocas tobáceas, Provincia de la Mesa Central, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 31(1), 116-126.
- Dogan, A. U., Dogan, M., & Hoskins, J. A. (2008). Erionite series minerals: Mineralogical and carcinogenic properties. *Environmental Geochemistry and Health*, 30(4), 367-381.
- Doula, M. K., Elaiopoulos, K., Kavvadias, V. A., & Mavraganis, V. (2012). Use of clinoptilolite to improve and protect soil quality from the disposal of olive oil mills wastes. *Journal of hazardous materials*, 207, 103-110.
- Gottardi, G. (1989). The genesis of zeolites. *European Journal of Mineralogy*, 479-488.
- Ilgren, E. B., Ortega Breña, M., Castro Larragoitia, J., Loustaunau Navarrete, G., Fuentes Breña, A., Krauss, E., & Fehér, G. (2008). A reconnaissance study of a potential emerging Mexican mesothelioma epidemic due to fibrous zeolite exposure. *Indoor and Built Environment*, 17(6), 496-515.
- Ilgren, E. B., Kazemain, H., & Hoskins, J. A. (2014). Kandovan the next 'Capadoccia'?—A potential public health issue for erionite related mesothelioma risk. *Epidemiology, Biostatistics and Public Health*, 12(1).
- King, R. E. (1939). Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 50(11), 1625-1722.
- Matijašević, S., Daković, A., Tomašević-Čanović, M., Stojanović, M., & Ileš, D. (2006). Uranium (VI) adsorption on surfactant modified heulandite/clinoptilolite rich tuff. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 71(12), 1323-1331.
- Ming, D. W., & Mumpton, F. A. (Eds.). (1995). *Natural Zeolites' 93: occurrence, properties, use*. International Committee on Natural Zeolites.

- Mumpton, F. A., & Ormsby, W. C. (1976). Morphology of zeolites in sedimentary rocks by scanning electron microscopy. *Clays and Clay Minerals*, 24(1), 1-23.
- Munson, R. A., & Sheppard, R. (1974). Natural zeolites--their properties, occurrences, and uses. *Minerals Science and Engineering*, 6(1), 19-34.
- Ortega-Guerrero, M. A., & Carrasco-Núñez, G. (2012). Evaluación de los posibles factores de riesgo ambiental en neoplasias pulmonares de la Comunidad de Tierra Blanca de Abajo, San Miguel de Allende, Guanajuato. *Reporte Interno del Centro de Geociencias*, 113.
- Ortega-Guerrero, M. A., & Carrasco-Núñez, G. (2014). Environmental occurrence, origin, physical and geochemical properties, and carcinogenic potential of erionite near San Miguel de Allende, Mexico. *Environmental geochemistry and health*, 36(3), 517-529.
- Passaglia, E., Galli, E., Rinaldi, R., (1974) Levynes and Erionites from Sardinia, Italy. *Contrib Mineralogy Petrology*. Volume 43, Issue 4, pp 253–259.
- Passaglia, E., & Tagliavini, A. (1995). ERIONITE FROM FAEDO, COLLI-EUGANEI, ITALY. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie-Monatshefte*, (4), 185-191.
- Reyes-Veyna, L. del R., (2007). Registro de neoplasias malignas México-Zacatecas 1999-2003, Servicios de Salud de Zacatecas, 3 pp.
- Ríos, G.R., Badilla, C.R., (1978). Una nueva localidad de zeolitas volcanosedimentarias en México. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, Tomo XXXIX, No. 2, p.p 136-145.
- Sebastien, P., Gaudichet, A., Bignon, J. A., & Baris, Y. I. (1981). Zeolite bodies in human lungs from Turkey. *Laboratory investigation; a journal of technical methods and pathology*, 44(5), 420-425.
- Servicio Geológico Mexicano, Carta Geológico-Minera Ures H12-D32, Sonora. Secretaria de Economía. Primera edición Mayo del 2002.
- Shakur, H. R., Saraee, K. R. E., Abdi, M. R., & Azimi, G. (2016). Highly selective and effective removal of uranium from contaminated drinking water using a novel PAN/AgX/ZnO nanocomposite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 234, 257-266.

- Tatrai, E., Bacsy, E., Karpati, J., & Ungváry, G. (1991). On the examination of the pulmonary toxicity of mordenite in rats. *Polish journal of occupational medicine and environmental health*, 5(3), 237-243.
- Taylor, S. R., & McLennan, S. M. (1985). The continental crust: its composition and evolution.
- Utada, M. (1980). Hydrothermal alterations related to igneous activity in Cretaceous and Neogene formations in Japan. *Mining Geol., Spec. Issue*, 8, 67-83.
- Yeung, K. L., & Han, W. (2014). Zeolites and mesoporous materials in fuel cell applications. *Catalysis today*, 236, 182-205.

10. Anexos

Anexo 1

Lista de tablas donde se muestran los análisis con los estándares de calidad para el método analítico de Fluorescencia de Rayos X.

ESTÁNDAR MONTANA SOIL 2709												
ELEMENTO	REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3	REPETICIÓN 4	REPETICIÓN 5	REPETICIÓN 6	REPETICIÓN 7	SUMATORIA	PROMEDIO	SD	PRECISIÓN (%RSD)	EXACTITUD (%D)
Zr	157.26	159.11	157.03	160.52	155.56	158.51	157.91	1105.9	157.9857143	1.596421594	1.010484778	-18.98168498
Sr	228.03	227.23	224.18	227.03	226.22	229.32	228.06	1590.07	227.1528571	1.633908548	0.71929914	-4.956963539
Rb	85.67	86.82	86.06	88.06	85.68	86.92	86.38	605.59	86.51285714	0.844644191	0.976322155	-12.61327561
Th	12.87	11.61	12.46	9.88	11.5	12.86	12.88	84.06	12.00857143	1.108939863	9.234569401	10.17038008
Pb	15.62	14.46	15.92	15.36	18.25	17.13	13.19	109.93	15.70428571	1.661092584	10.57732019	-9.223781998
As	9.39	9.89	8.77	8.43	8.57	6.87	9.71	61.63	8.804285714	1.023048665	11.61989397	-16.14965986
Zn	94.46	95.92	96.82	94.63	95.04	96.28	93.88	667.03	95.29	1.07183643	1.124815228	-7.485436893
W	17.3	15	17.52	15	15	15	15	109.82	15.68857143	1.177673251	7.506567798	
Cu	38.02	41.03	35.32	41.63	31.35	36.79	39.52	263.66	37.66571429	3.576669108	9.495821798	11.10830173
Ni	87.53	83.6	80.52	72.84	76.68	94.71	75.21	571.09	81.58428571	7.680904585	9.414686318	-4.018487395
Fe	29410.39	29016.36	29154.46	29390.15	29273.52	29215.04	29318.96	204778.88	29254.12571	138.7409089	0.474260999	-12.93414966
Mn	469.19	474.66	454.93	491.7	467.6	469.09	452.05	3279.22	468.46	13.11840946	2.800326486	-11.4442344
Cr	99.02	99.14	96.4	95.41	91.89	98.71	87.88	668.45	95.49285714	4.239857365	4.439973305	-26.54395604
V	110.87	116.48	118.78	122.49	119.54	114.42	108.09	810.67	115.81	5.061936388	4.370897494	5.281818182
Ti	3595.67	3632.32	3636.93	3585.45	3580.77	3662.1	3550.22	25243.46	3606.208571	38.88719902	1.078340264	7.327636054
Ca	20364.24	20401.57	20465.93	20418.94	20410.98	20385.66	20476.16	142923.48	20417.64	40.69210693	0.199298778	6.898638743
K	18838.73	19122.36	19183.14	19137.26	19351.15	19263.72	19462	134358.36	19194.05143	198.3546538	1.03341733	-9.032931618

Tabla 6. Imagen donde se muestra los resultados para cada elemento del estándar Montana Soil 2709.

Anexo 2

ESTÁNDAR MONTANA SOIL 2710												
ELEMENTO	REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3	REPETICIÓN 4	REPETICIÓN 5	REPETICIÓN 6	REPETICIÓN 7	SUMATORIA	PROMEDIO	SD	PRECISIÓN (%RSD)	EXACTITUD (%D)
Sr	254.43	251.98	253.14	251.98	251.98	257.82	254.71	1776.04	253.72	2.14916263	0.847060787	-0.501960784
U	9.46	8.65	7.44	1	10.48	7.51	11.46	56	8	3.42125221	42.76565259	-12.18441273
Rb	112.5	112.75	114.48	113.46	111.53	114.03	107.96	786.71	112.387143	2.18741639	1.946322629	-3.942612943
Th	66.83	61.67	56.69	52.22	59.8	65.79	56.93	419.93	59.99	5.22670387	8.712625219	231.4364641
Pb	5852.01	5921.97	5910.08	5859.34	5923.99	5923.17	5918.78	41309.34	5901.33429	31.6047417	0.535552472	6.908229814
As	1710.89	1698.58	1705.8	1688.04	1676.73	1708.58	1670.05	11858.67	1694.09571	16.1522845	0.953445805	10.00621521
Zn	4352.27	4386.87	4360.68	4328.81	4345.59	4380.51	4366.63	30521.36	4360.19429	20.1123062	0.461270873	4.310868079
W	152.87	136.62	168.94	170.84	141.88	173.97	166.36	1111.48	158.782857	14.9914717	9.441492597	-16.43007519
Cu	3713.65	3712.74	3741.17	3712.18	3763.22	3721.52	3710.13	26074.61	3724.94429	19.9955219	0.536800563	8.916499582
Fe	47044.13	47180.34	47254.99	47224.37	47280.43	47167.2	47244.5	330395.96	47199.4229	79.396172	0.168214286	9.25792328
Mn	2159.07	2148.77	2163.19	2123.07	2131.88	2152.65	2104.65	14983.28	2140.46857	21.3659436	0.998190019	0.021895861
V	87.85	108.69	93.66	88.4	100.4	105.51	93.14	677.65	96.8071429	8.20684209	8.477517104	18.05749129
Ti	2968.87	2966.67	2981.89	3036.76	3061.94	3040.59	2998.08	21054.8	3007.82857	38.3362924	1.274550443	-3.285254938
Ca	8177.31	8241.4	8264.47	8215.01	8275.88	8293.46	8278.13	57745.66	8249.38	41.1068307	0.498302063	-14.42551867
K	20207.36	20413.4	20601.81	20346.54	20502.44	20473.42	20520.24	143065.21	20437.8871	129.851862	0.633348755	-5.816188282

Tabla 7. Imagen donde se muestra los resultados para cada elemento del estándar Montana Soil 2710.

Anexo 3

ESTÁNDAR MONTANA SOIL 2711												
ELEMENTO	REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3	REPETICIÓN 4	REPETICIÓN 5	REPETICIÓN 6	REPETICIÓN 7	SUMATORIA	PROMEDIO	SD	PRECISIÓN (%RSD)	EXACTITUD (%D)
Zr	326.27	324.13	323.78	330.18	325.91	324.03	325.08	2279.38	325.625714	2.22580964	0.683548487	
Sr	228.83	229.65	229.04	231.65	231.42	229.37	232.36	1612.32	230.331429	1.43465941	0.622867412	-9.67394958
U	1	1	5.87	1	6.55	1	1	17.42	2.48857143	2.54978711	102.4598772	-17.32320835
Rb	116.44	113.83	111.32	113.43	114.42	115.32	115.73	800.49	114.355714	1.70859452	1.494105067	-4.703571429
Th	17.53	16.52	20.69	15.54	17.16	19.62	16.16	123.22	17.6028571	1.88461061	10.70627678	17.35238095
Pb	1440.53	1430.63	1464.14	1463.43	1462.94	1442.52	1465.06	10169.25	1452.75	14.3900568	0.990539098	-0.971370143
As	126.8	141.18	128.61	122.42	115.71	131.08	116.46	882.26	126.037143	8.88250474	7.047529434	17.7917223
Zn	378.02	392.76	369.83	383.75	376.8	370.22	373.73	2645.11	377.872857	8.14204666	2.154705348	-8.726363009
W	92.9	25.88	107.53	81.73	93.71	96.19	106.48	604.42	86.3457143	28.0644264	32.50239647	
Cu	130.06	132.67	135.54	133.37	135.66	131.36	127.88	926.54	132.362857	2.84250309	2.147508108	-5.455102041
Fe	24402.68	24112.06	24158.79	24378.11	24307.84	24205.59	24373.63	169938.7	24276.9571	117.321027	0.483260839	-13.91149949
Cr	39.85	39.3	41.43	42.36	47.25	40.53	39.79	290.51	41.5014286	2.74573869	6.616010061	-20.64736411
V	83.69	76.01	79.07	82.41	79.78	76.28	85.73	562.97	80.4242857	3.68937148	4.587384825	-0.34165339
Ti	2617.18	2586.95	2598.98	2556.9	2665.97	2577.98	2606.79	18210.75	2601.53571	34.6184483	1.330692794	-17.93262731
Ca	21325.89	21335.6	21417.9	21313.76	21487.15	21510.26	21499.15	149889.71	21412.8157	87.3983358	0.408159006	-11.51729044
K	21484.91	21249.22	21300.9	21335.82	21470.89	21473.87	21427.82	149743.43	21391.9186	95.4665333	0.446273825	-15.44696217

Tabla 8. Imagen donde se muestra los resultados para cada elemento del estándar Montana Soil 2711.

Anexo 4

SAMPLE	Mo	Zr	Sr	U	Rb	Th	Pb	Au	Se	As	Hg	Zn	W	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	S	Sb	Sn	Cd	Ag	Nb	Y	Bi
2710a montana soil	10,6	246,7	248,93	6,74	110,9	54,5	5787,3	<LOD	<LOD	1666,5	17,5	4338,6	139,9	3648,6	<LOD	<LOD	46455,7	2102,5	30,7	85,9	2986,6	24,37	8232,76	20324,3	6338,3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	13,6	16,3	<LOD
2710a montana soil	10,6	248,8	252,12	7,2	111	48,2	5807,2	<LOD	<LOD	1643,1	13,7	4337,1	150	3719,6	<LOD	<LOD	46340	2118,9	28,9	104	3020,6	<LOD	8399,7	20306,3	6386,8	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	11,9	11,7	<LOD
2710a montana soil	10,8	245,8	248,09	<LOD	111,1	56,4	5813,4	<LOD	<LOD	1662,4	<LOD	4285,1	174,4	3667,2	<LOD	<LOD	46232,2	2037,5	28,8	98,6	2999,6	29,18	8306,27	20483,6	5846,2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	11,9	14,2	<LOD
			249,71	6,97	111																		8312,91	20371,4								
SPU 04 med	<LOD	147,2	7319,8	77	77,78	18,7	11,43	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	60,68	67,2	11,41	<LOD	<LOD	6684,38	737,5	<LOD	<LOD	246,36	82,29	18630,8	8586,83	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	22,1	22,3	<LOD	
SPU 04 med	<LOD	146,1	7330,2	84,5	75,9	18,9	14,19	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	60,09	50,86	<LOD	<LOD	<LOD	6663,19	730,73	<LOD	<LOD	235,03	83,92	18711,6	8679,88	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	21,3	21,7	<LOD	
SPU 04 med	<LOD	151,7	7343,5	75,16	78,94	18,6	13,54	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	59,23	92,57	10,61	<LOD	<LOD	6706,39	734,82	<LOD	<LOD	212,4	89,28	18585,9	8734,15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	21,1	22,3	<LOD	
			7331,2	78,89	77,54																		18642,8	8666,95								
SPU P-9	<LOD	110,6	7470,6	67,55	79,08	17,4	13,61	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	59,45	110,3	<LOD	<LOD	<LOD	7348,65	827,06	<LOD	<LOD	322,54	102,5	31504,3	8061,99	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	22,3	7,96	38,8	
SPU P-9	<LOD	111,4	7535,9	62,74	78,88	15	14,3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	59,44	84,41	<LOD	<LOD	<LOD	7439,6	1020,2	<LOD	<LOD	328,48	114	31690,5	8045,52	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	23	10,2	38,2	
SPU P-9	<LOD	118,6	7453,2	71,45	77,84	15,8	13,1	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	55,46	66,54	<LOD	<LOD	<LOD	7259,53	839,26	<LOD	<LOD	344,78	96,66	31614,7	8051,43	113,77	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	20,8	9,26	28,3
			7486,6	67,25	78,6																		31603,2	8052,98								
SPU P-3	<LOD	152,8	6528,9	61,66	116,8	19,8	20,41	<LOD	<LOD	5,02	<LOD	74,53	76,07	15,37	<LOD	<LOD	14801,5	825,59	<LOD	17,5	824,97	60,25	15189,9	14398,7	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	25,9	14	<LOD	
SPU P-3	<LOD	161,3	6536,8	55,81	120,5	19,9	19,55	<LOD	<LOD	5,44	<LOD	79,05	63,13	14,11	<LOD	<LOD	14814,3	801,54	<LOD	20,2	820,45	65,48	15250	14655	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	29,4	15,5	<LOD	
SPU P-3	<LOD	155,8	6492,7	55,23	119,4	18,6	20,68	<LOD	<LOD	8,72	<LOD	80,42	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	14749,5	856,1	<LOD	28	802,51	84	15211,4	14670,9	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	28,5	13,3	<LOD	
			6519,5	57,57	118,9																		15217,1	14574,9								
SPU P-8	<LOD	149,1	4651,1	49,16	73,71	11,9	14,42	<LOD	<LOD	3,03	<LOD	42,6	47,15	11,77	<LOD	<LOD	7401,81	68,24	<LOD	<LOD	614,53	43,37	19985,7	10318,3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	20	10,3	<LOD	
SPU P-8	<LOD	141,7	4628,8	48,78	72,62	11,1	17,38	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	37,65	47,34	18,46	<LOD	<LOD	7359,28	356,47	<LOD	16,4	639,13	74,79	19992,2	10365,8	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	19,7	9,72	<LOD	
SPU P-8	<LOD	147,6	4654,9	46,19	74,51	11	16,17	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	41,41	68,71	<LOD	<LOD	<LOD	7453	92,55	<LOD	17,7	603,39	68,87	19909,9	10316,2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	20,1	11,3	<LOD	
			4644,9	48,04	73,61																		19962,6	10333,4								
SPU P-6 1	<LOD	159,9	6851,7	81,53	79,8	13,5	11	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	54,71	69,5	11,1	<LOD	<LOD	6153,55	198,06	<LOD	<LOD	346,02	62,91	15017,7	9481,38	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	8,07	14,3	<LOD	
SPU P-6 1	<LOD	167,7	6848,1	69,84	83,03	13,7	10,57	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	55,15	74,22	11,88	<LOD	<LOD	6173,56	189,97	<LOD	<LOD	348,03	53,67	15044,4	9494	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	9,44	14	<LOD	
SPU P-6 1	<LOD	161,1	6841,8	72,11	81,82	16,2	12,26	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	53,98	45,23	10,39	<LOD	<LOD	6236,02	204,1	<LOD	<LOD	331,39	58,33	15204	9638,05	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	7,67	14	<LOD	
			6847,2	74,49	81,55																		15088,7	9537,81								
SPU2-04 Inf	<LOD	137	8641,9	88,62	77,98	18,6	19,32	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	39,69	99,01	<LOD	<LOD	<LOD	6255,12	225,96	<LOD	<LOD	334,16	88,59	20935,4	10549,9	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	15,7	8,67	<LOD	
SPU2-04 Inf	<LOD	145,4	8624,6	89,27	78,26	20,7	18,45	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	41,41	70,99	<LOD	<LOD	<LOD	6301,85	231,43	<LOD	<LOD	304,51	80,69	21193	10452,4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	15,4	9,09	<LOD	
SPU2-04 Inf	<LOD	145,9	8677,3	93,14	80,57	19,7	17,23	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	34,78	104,9	<LOD	<LOD	<LOD	6241,98	220,55	<LOD	<LOD	304,56	86,6	21207,9	10427,5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	17,5	5,99	<LOD	
			8647,9	90,34	78,94																		21112,1	10476,6								
SPU2-03	4,45	156,1	3045,3	25,65	90,18	16	22,41	<LOD	<LOD	5,39	<LOD	41,32	91,12	35,43	<LOD	<LOD	12815,4	346,58	34,8	36,4	1285,5	82,88	28826,9	14182,3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	12,8	15,5	<LOD	
SPU2-03	6,39	158,2	3045,8	23,08	90,98	15,9	24,12	<LOD	<LOD	5,79	<LOD	44,34	72,67	29,76	<LOD	<LOD	12799,3	367,37	34,6	29	1269,4	100,8	28831	14193,5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	13,6	16,2	<LOD	
SPU2-03	5,63	149,2	3073,6	29,21	89,29	13,6	23,36	<LOD	<LOD	6,44	<LOD	39,82	27,19	33,44	<LOD	<LOD	12942,4	343,75	35,1	34,9	1313,4	84,04	28974,9	14074	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	12,8	16,6	<LOD	
			3054,9	25,98	90,15																		28877,6	14149,9								
P1-2 Sup	12,9	111	7941,5	67,92	56,1	19,9	13,03	<LOD	<LOD	7,86	<LOD	77,4	112	13,4	<LOD	<LOD	11307,1	1161,3	9,49	27,1	680,49	89,73	23874,4	6457,97	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	26,3	15,3	59,1	
P1-2 Sup	10,7	115,8	7896,5	66,97	55,21	19	9,86	<LOD	<LOD	8,55	<LOD	77,98	98,92	11,06	<LOD	<LOD	11262	1115,7	<LOD	20,8	656,93	84,67	24035,9	6478,39	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	26,9	16,7	59,3	
P1-2 Sup																																

Tabla 9. Imagen donde se muestra la geoquímica total de 9 muestras por la técnica de Fluorescencia de Rayos X. En subrayado se observa el promedio de los elementos mayores de las muestras por cada tres lecturas del equipo.

Anexo 5

SAMPLE	Mo	Zr	Sr	U	Rb	Th	Pb	Au	Se	As	Hg	Zn	W	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sc	Ca	K	S	Sb	Sn	Cd	Ag	Nb	Y	Bi		
SPU P-4	<LOD	158,4	8224	96,8	90,84	18,7	19,7	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	53,37	55,15	<LOD	<LOD	<LOD	6284,51	774,21	<LOD	<LOD	<LOD	314,89	54,18	15143,1	9459,19	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	17	6,08	<LOD
SPU P-4	<LOD	162,6	8272,8	89,12	91,21	16,3	18,08	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	56,79	81,68	12,5	<LOD	<LOD	6252,94	781,05	<LOD	<LOD	<LOD	303,96	64,34	15099,6	9464,39	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	19,1	5,65	<LOD	
SPU P-4	<LOD	168	8222,3	103,7	88	18,1	17,6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	49,97	86,53	<LOD	<LOD	<LOD	6162,45	794,15	<LOD	<LOD	<LOD	326,96	67,83	15230,5	9407,79	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	16	6,71	<LOD	
			8239,7	96,54	90,02																			15157,7	9443,79									
SPU P-2	<LOD	137,5	7036,5	76,42	71,88	19,2	40,93	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	77,11	86,25	48,22	<LOD	<LOD	6891,9	599,11	<LOD	<LOD	<LOD	264,84	87,71	19625,1	8054,16	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	24,9	14,9	<LOD	
SPU P-2	<LOD	132,3	7053	84,07	71,09	20,4	38,15	<LOD	<LOD	5,66	<LOD	70,4	91,19	48,26	<LOD	<LOD	6934,1	563,08	<LOD	<LOD	<LOD	245,07	95,62	19699,9	7999,44	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	23,1	13,1	25,1	
SPU P-2	<LOD	132	7058,8	80,75	71,39	22,4	37,07	<LOD	<LOD	7,41	<LOD	76,77	102,8	48,72	<LOD	<LOD	6850,97	558,36	<LOD	<LOD	<LOD	256,37	74,42	19866	8107,4	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	24,4	15,1	<LOD	
			7049,4	80,41	71,45												19730,3	8053,67																
SPU P-6 2	<LOD	142,2	6756	72,78	104,6	18,8	17,58	<LOD	<LOD	4,49	<LOD	57,84	78,73	26,82	<LOD	<LOD	8562,45	1034,5	<LOD	<LOD	<LOD	550,91	58,21	15286,6	12131,6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	25,3	17,7	<LOD	
SPU P-6 2	<LOD	139	6775,2	73,94	103,2	16,6	22,15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	54,59	93,43	18	<LOD	<LOD	8607,54	1008,7	<LOD	<LOD	<LOD	572,48	60,18	15447,4	11931,5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	25,3	18,9	<LOD	
SPU P-6 2	<LOD	134,3	6718,8	68,54	103	19,3	17,59	<LOD	<LOD	4,56	<LOD	58,62	86,78	24	<LOD	<LOD	8583,31	985,61	<LOD	<LOD	<LOD	539,97	53,9	15397,6	12028,9	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	24	17,7	<LOD	
			6750	71,75	103,6																			15377,2	12030,6									
SPU P-1	<LOD	164,1	6687,7	78,34	74,07	15,8	26,57	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	39,65	22,96	11,76	<LOD	6494,99	112,71	<LOD	<LOD	<LOD	388,01	76,84	18426,1	8986,64	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	16	10,4	<LOD	
SPU P-1	<LOD	157,8	6700,3	76,47	73,38	18	22,79	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	47,34	49,63	10,76	<LOD	<LOD	6539,86	133,63	<LOD	<LOD	<LOD	382,61	76,57	18358,7	9020,15	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	16,1	12,2	<LOD	
SPU P-1	<LOD	155,5	6732,3	78,89	71,71	16,5	21,44	<LOD	<LOD	3,5	<LOD	42,92	42,45	12,6	<LOD	<LOD	6515,37	129,61	<LOD	<LOD	<LOD	407,57	72,86	18413,6	9016,06	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	15,2	11,5	<LOD	
			6706,8	77,9	73,05												18399,5	9007,62																
SPU P-10	<LOD	169,6	8430,9	100	86,09	17	15,03	<LOD	<LOD	5,25	<LOD	59,26	53,26	<LOD	<LOD	<LOD	6877,33	763,86	<LOD	<LOD	<LOD	376,14	84,17	22777,3	8649,52	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	14,3	14,6	<LOD	
SPU P-10	<LOD	168,9	8408,1	85,95	88,83	17	17,47	<LOD	<LOD	5,69	<LOD	62,9	43,65	15,27	<LOD	<LOD	6877,73	702,44	<LOD	<LOD	<LOD	386,56	88,45	22702,5	8685,02	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	14,2	10,7	<LOD	
SPU P-10	<LOD	171,9	8418,4	94,88	88,34	15,7	15,63	<LOD	<LOD	3,49	<LOD	58,11	53,6	17,12	<LOD	<LOD	6815,3	625,11	<LOD	<LOD	<LOD	365,37	95,58	22758,2	8788,89	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	16,6	14	<LOD	
			8419,1	93,61	87,75																			22746	8707,81									
SPU-02-04	<LOD	198,7	8635,5	87,4	68,62	14,8	15,65	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	46,92	79,97	19,67	<LOD	<LOD	11138,6	642,13	<LOD	<LOD	<LOD	737,56	85,65	22341,3	9490,89	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	11,7	15,3	39,5	
SPU-02-04	<LOD	207,5	8577,5	83,72	67,91	14,7	16,06	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	41,7	26,73	24,98	<LOD	<LOD	11204,4	574,57	<LOD	<LOD	17,5	716,01	89,22	22351,7	9474,04	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	11,3	14,3	43,3	
SPU-02-04	<LOD	199,5	8603,9	79,01	68,91	15,5	11,88	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	40,13	70,56	16,25	<LOD	<LOD	11147,5	563,75	<LOD	<LOD	21	758,09	82,37	22509,7	9408,73	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	10,7	12,7	37,8	
			8605,6	83,38	68,48												22400,9	9457,89																
SPU2-04 Sup	<LOD	98,93	8412,1	75,39	97,92	15,4	13,09	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	58,85	125,5	12,94	<LOD	<LOD	7238,28	859,44	<LOD	<LOD	<LOD	219,93	78,26	18837,7	9792,76	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	20,9	7,01	58,9	
SPU2-04 Sup	<LOD	100,8	8416,2	75,94	100,6	18,8	12,39	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	63,2	114,4	18,92	<LOD	<LOD	7337,31	869,49	<LOD	<LOD	15,1	254,85	80,34	18929,8	9822,13	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	23,1	6,69	58,4	
SPU2-04 Sup	<LOD	97,06	8454	82,48	97,89	21,3	9,21	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	69,96	135,5	18,45	<LOD	<LOD	7305,88	880,91	<LOD	<LOD	13,8	255,7	78,17	19006,7	9743,48	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	19,9	9,34	43,7	
			8427,4	77,94	98,8																			18924,7	9786,13									

Tabla 10. Imagen donde se muestra la geoquímica total de 9 muestras por la técnica de Fluorescencia de Rayos X. En subrayado se observa el promedio de los elementos mayores de las muestras por cada tres lecturas del equipo.

Anexo 6

ELEMENTO	MEDIANA SUELOS	CORTEZA TERRESTRE	SEDIMENTOS	SPU P1	SPU P1+2 Sup	SPU P2	SPU P3	SPU P4	SPU P6	SPU P6+2	SPU P7	SPU P8	SPU P9	SPU P10	SPU 40-04	SPU 2-03	SPU 2-04 SUP	SPU 2-MED	SPU 2-INF
Mn	1.2	1.5	2	0	11.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.49	0	0	0
Zr	400	190	150	159.13	115.8	133.95	156.64	162.97	162.87	138.46	118.89	146.1	113.55	170.16	201.9	154.5	98.92	148.32	142.76
Sr	250	100	320	6706.78	7925.15	7049.44	6519.46	8239.72	6847.19	6749.99	1574.78	4644.94	7486.57	8419.14	8605.65	3054.91	8427.44	7331.17	8647.92
U	2	2.4	3.1	77.9	64.083	80.41	57.56	96.54	74.49	71.75	13.73	48.04	77.24	93.61	83.77	25.98	77.93	78.88	90.34
Rb	150	90	135	73.053	56.423	71.45	118.86	90.01	81.55	103.62	136.94	73.61	78.6	83.75	68.48	90.15	98.8	77.54	78.93
Th	9	12	9.6	16.77	19.19	20.64	19.42	17.7	14.46	18.24	6.90	11.33	16.06	16.53	14.99	15.15	18.47	18.74	19.65
Pb	35	14	19	23.06	10.33	38.71	20.21	18.46	11.27	19.10	13.09	0	13.67	16.04	14.53	23.29	11.56	13.05	18.33
Se	0.4	0.05	.042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
As	6	1.5	7.7	0	7.80	6.53	6.39	0	0	4.52	0	0	0	4.81	0	5.87	0	0	0
Hg	1	0.05	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	90	75	95	43.30	77.80	74.76	78	53.37	54.61	57.01	21.96	40.55	58.11	60.09	42.91	41.83	64.00	60	38.62
Cu	30	50	33	11.70	12.23	48.4	14.74	0	11.12	22.94	0	15.11	0	56.19	20.3	32.87	16.77	11.01	0
Ni	50	80	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co	8	20	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	40000	41000	41000	6536.74	11322.61	6392.32	14788.45	6233.3	6187.71	8584.43	12182.07	7404.69	7349.26	6856.78	11166.46	12852.33	7293.82	6684.65	6266.31
Mn	1000	950	770	125.317	1150.06	573.51	827.74	783.13	197.37	1009.61	229.76	172.42	895.49	697.13	593.48	352.56	869.94	734.35	225.98
Cr	70	370	72	0	11.61	0	0	0	0	0	33.5	0	0	0	0	34.82	0	0	0
V	90	160	105	0	22.98	0	21.91	0	0	0	42.12	17.04	0	0	19.28	33.43	14.46	0	0
Ti	5000	5600	3800	392.73	660.143	255.42	815.97	315.27	341.81	554.45	1594.02	619.01	331.93	376.02	737.22	1289.42	243.49	231.26	314.41
Sr	7	3	10	75.42	91.673	85.91	69.91	62.11	58.30	57.43	57.83	67.34	104.38	89.4	85.74	89.24	78.92	85.16	85.29
Ca	15000	41000	66000	18399.46	29989.53	19730.34	15217.11	15157.73	15088.69	15377.18	2554.02	19962.57	31603.88	22746.01	22400.93	28877.6	18924.74	18642.77	21112.1
K	14000	21000	20000	9107.517	6478.443	8053.66	14574.88	9443.79	9557.81	11030.63	1817.45	10333.44	8052.98	8707.81	9457.88	14149.94	9766.12	8666.95	10476.58
S	700	980	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113.77	0	0	0	0	0	0
Si	1	0.2	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sn	4	2.2	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cd	0.35	0.11	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hb	10	20	13	15.75	16.39	24.14	27.92	17.36	8.79	24.86	8.15	19.93	22.02	15.03	11.2	13.07	21.32	21.51	16.22
Y	40	30	40	11.36	53.66	14.38	14.28	6.14	14.11	18.1	9.02	1043	9.15	13.09	14.07	16.1	7.68	22.08	7.9

Tabla 11. Imagen donde se muestra tabla con los valores de la mediana de suelos (Bowen, 1979), así como los promedios de la corteza terrestre y sedimentos (Taylor & McLennan, 1985), donde con cada uno de esos promedios se hace un comparativo con los valores obtenidos por el análisis de fluorescencia de las muestras colectadas en campo. En la muestra SPU-P7 se puede observar como disminuyen los valores en algunos elementos ya que la muestra no contiene zeolita heulandita.

Anexo 7

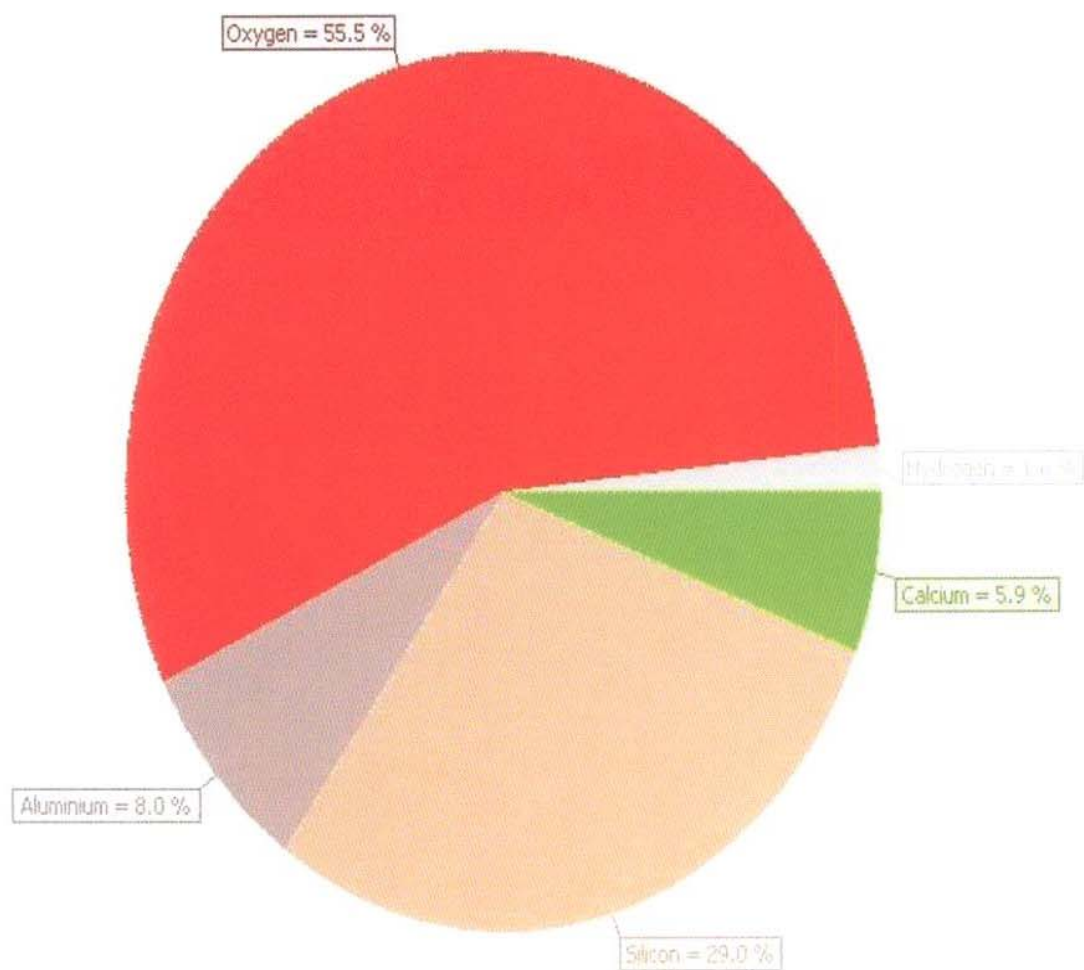


Figura 61. Diagrama circular donde se observan los porcentajes semi-cuantitativos de los elementos químicos que contiene la muestra SPU-P4.

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			1	PDF 77-0339	Pattern List #1	SPUP-4.raw (Strip ka2) #1	PDF 77-0339
Yes			2	PDF 46-1045	Pattern List #1	SPUP-4.raw (Strip ka2) #1	PDF 46-1045

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Heulandite-Ca	Ca4.48 Al8.96 Si27.04 O72 (H2 O)24.5	Calculated	74.48 %	0.510	0.000	91.7 %
Quartz, syn	Si O2	Star (*)	44.89 %	3.410	0.000	8.3 %

Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a
Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)	17.77000 Å
Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3221 (154)	4.91344 Å

b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
17.95000 Å	7.43500 Å		116.460 °		1	2123.12 Å³	2.156 g/cm³	No	F30= 333.3(0.0026, 35)
	5.40524 Å				3	113.01 Å³	2.660 g/cm³	No	F30= 538.7(0.0018, 31)

Tabla 12. Imagen donde se observa la formula química, sistema cristalino, densidad y porcentaje (S-Q) de los principales minerales que se encuentran en la muestra SPU-P4.

Anexo 8

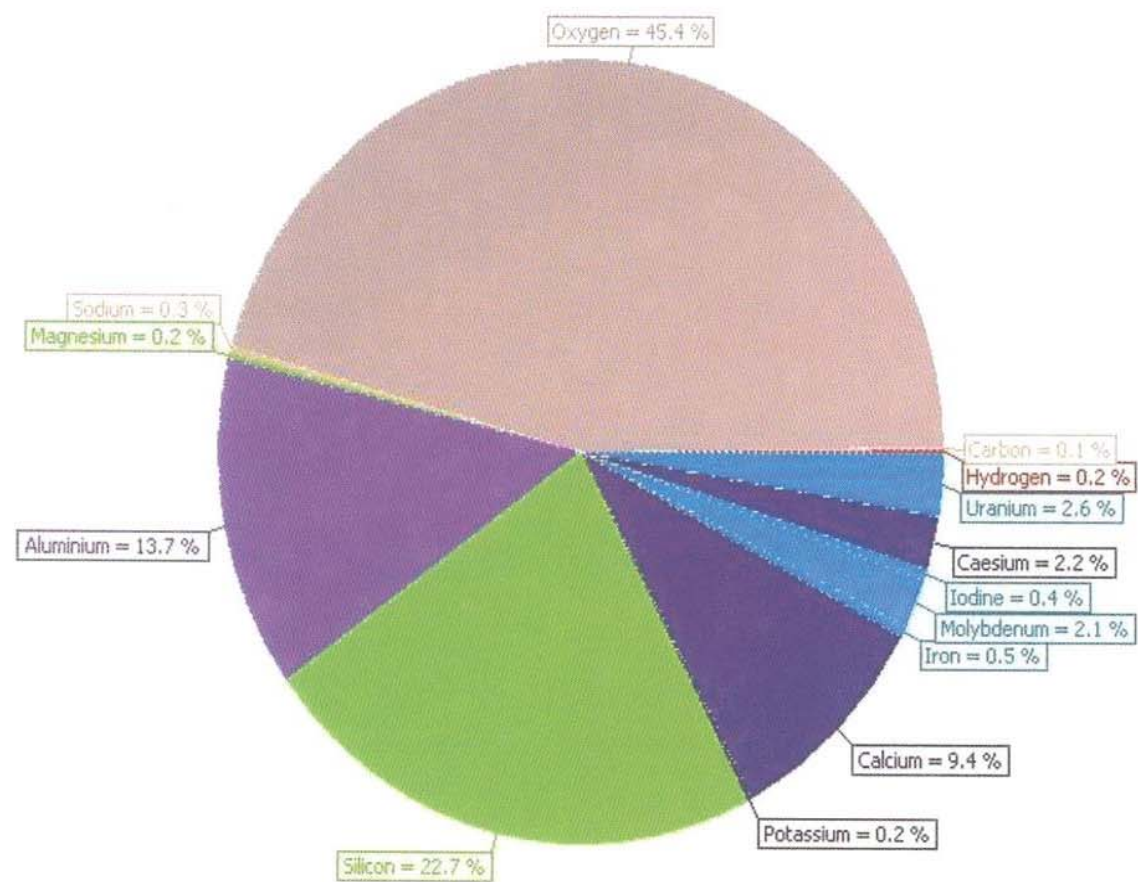


Figura 62. Diagrama circular donde se observan los porcentajes semi-cuantitativos de los elementos químicos que contiene la muestra SPU-P7.

Compound Name		Formula	Quality
Quartz		Si O2	Calculated
Stilbite-Ca		Ca2.62 Al9.8 Si26.2 O72 H4.56	Calculated
Clinoptilolite		(Cs5.62 K0.44 Mg0.26) (Al6.58 Si29.42) O72 (H2 O)10.92	Calculated
Irriginite, syn		U (Mo O4)2 (O H)2 ·2 H2 O	Indexed
Calcite, syn		Ca C O3	Star (*)
Anorthite, ordered		Ca Al2 Si2 O8	Star (*)
Illite, trioctahedral		K0.5 (Al , Fe , Mg)3 (Si , Al)4 O10 (O H)2	Blank
Unnamed zeolite Sodium Aluminum Iodide Silicate		Na4 Al3 Si3 O12 I	Star (*)

System	S-Q	Density
Hexagonal	13.7 %	2.648 g/cm³
Monoclinic	1.7 %	1.691 g/cm³
Monoclinic	9.2 %	2.434 g/cm³
Orthorhombic	6.7 %	3.840 g/cm³
Rhombo.H.axes	1.0 %	2.710 g/cm³
Triclinic	62.0 %	2.760 g/cm³
Orthorhombic	3.7 %	2.750 g/cm³
Cubic	2.0 %	2.614 g/cm³

Tabla 13. Imagen donde se observa la formula química, sistema cristalino, densidad y porcentaje (S-Q) de los principales minerales que se encuentran en la muestra SPU-P7.

Anexo 9

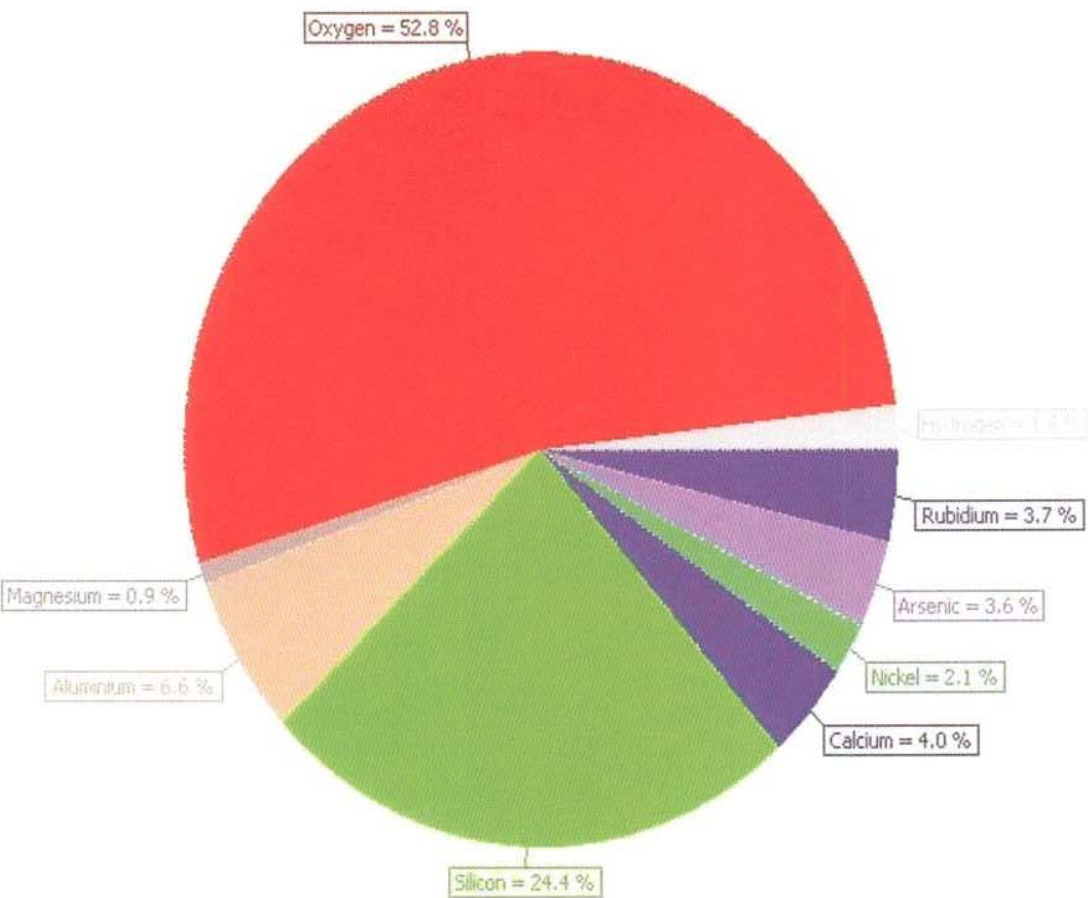


Figura 63. Diagrama circular donde se observan los porcentajes semi-cuantitativos de los elementos químicos que contiene la muestra SPU-P10.

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User
Heulandite-Ca	Ca3.45 Rb1.50 (Al8.4 Si27.6 O72) (H2 O)23.5	Calculated	68.20 %	0.540	0.000
Annabergite, magnesian	(Ni , Mg)3 (As O4)2 ·8 H2 O	Indexed	20.01 %	(1)	0.000
Quartz, low	Si O2	Star (*)	21.50 %	3.600	0.000

S-Q	Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group
82.9 %	Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)
13.1 %	Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)
3.9 %	Minor		1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3121 (152)

a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned
17.69900 Å	17.92700 Å	7.42200 Å		116.470 °		1	2108.05 Å³	2.243 g/cm³	No
10.21100 Å	13.33500 Å	4.72800 Å		104.970 °		2	621.93 Å³	3.110 g/cm³	No
4.91300 Å		5.40500 Å				3	112.98 Å³		No

Tabla 14. Imagen donde se observa la formula química, sistema cristalino, densidad y porcentaje (S-Q) de los principales minerales que se encuentran en la muestra SPU-P10.

Anexo 10

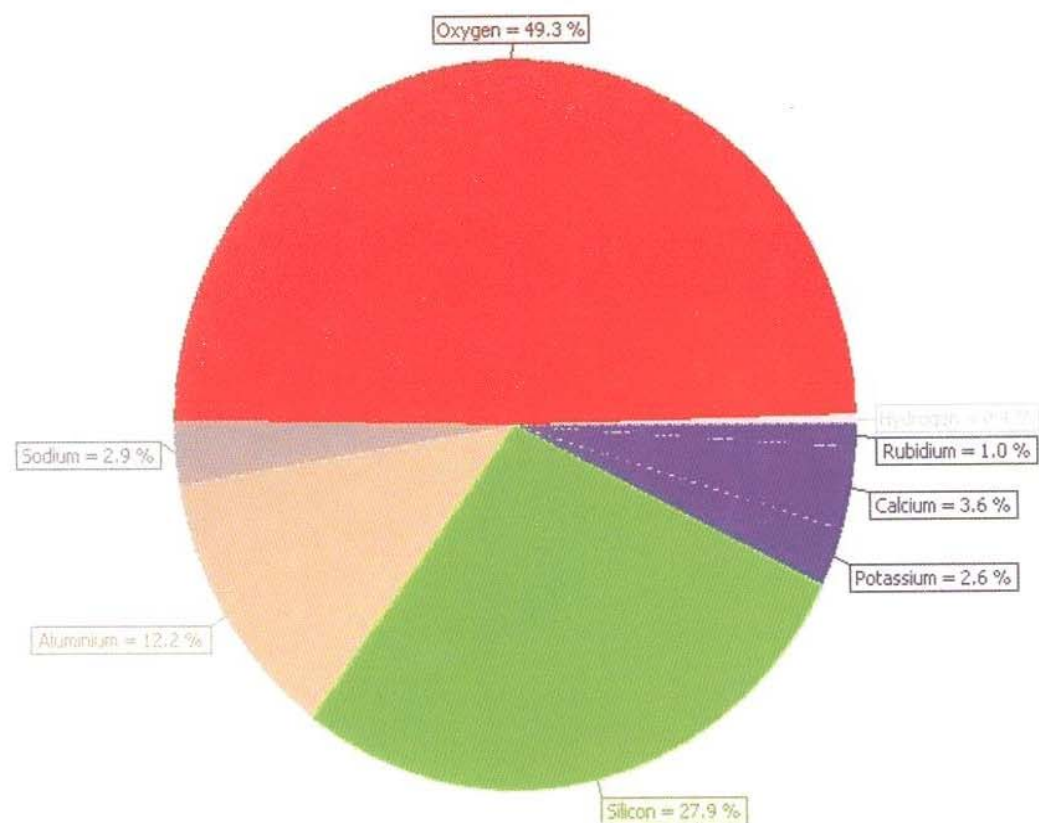


Figura 64. Diagrama circular donde se observan los porcentajes semi-cuantitativos de los elementos químicos que contiene la muestra SPU2-03.

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User
Heulandite-Ca	Ca3.45 Rb1.50 (Al8.4 Si27.6 O72) (H2 O)23.5	Calculated	31.99 %	0.540	0.000
Quartz	Si O2	Calculated	99.86 %	4.750	0.000
Albite, calcian, ordered	(Na , Ca) Al (Si , Al)3 O8	Indexed	46.93 %	1.060	0.000
Albite calcian low	(Na0.75 Ca0.25) (Al1.26 Si2.74 O8)	Calculated	48.31 %	0.580	0.000
Microcline	K (Si0.75 Al0.25)4 O8	Calculated	28.50 %	0.600	0.000

S-Q	Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group
23.2 %	Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Monoclinic	C2/m (12)
8.2 %	Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal	P3121 (152)
17.3 %	Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)
32.6 %	Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)
18.6 %	Major		1.0000	Yes	1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)

a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned
17.69900 Å	17.92700 Å	7.42200 Å		116.470 °		1	2108.05 Å³	2.243 g/cm³	No
4.91340 Å		5.40520 Å				3	113.01 Å³	2.648 g/cm³	No
8.16100 Å	12.85800 Å	7.11200 Å	93.680 °	116.420 °	89.390 °	4	333.42 Å³	2.630 g/cm³	No
8.16900 Å	12.85100 Å	7.12400 Å	93.630 °	116.400 °	89.460 °	4	334.20 Å³	2.645 g/cm³	No
8.57840 Å	12.96000 Å	7.21120 Å	89.700 °	115.967 °	90.875 °	4	360.35 Å³	2.569 g/cm³	No

Tabla 15. Imagen donde se observa la formula química, sistema cristalino, densidad y porcentaje (S-Q) de los principales minerales que se encuentran en la muestra SPU2-03.

Anexo 11



Figura 65. Imagen donde se observa el conglomerado polimictico en la base del depósito de zeolita.



Figura 66. Imagen donde se observa el conglomerado polimictico y el depósito de zeolita heulandita en al área de estudio.

Anexo 12



Figura 67. Imagen donde se observa frangmentos de roca zeolitizados por encima del depósito heulandita.



Figura 68. Imagen donde se observa el mineral zeolita basculado sobre el arroyo. (vista al NE).

Anexo 13



Figura 69. Imagen del principal afloramiento donde se tomaron las muestras de zeolita en el cual se observa una estratificación cruzada dentro del depósito.

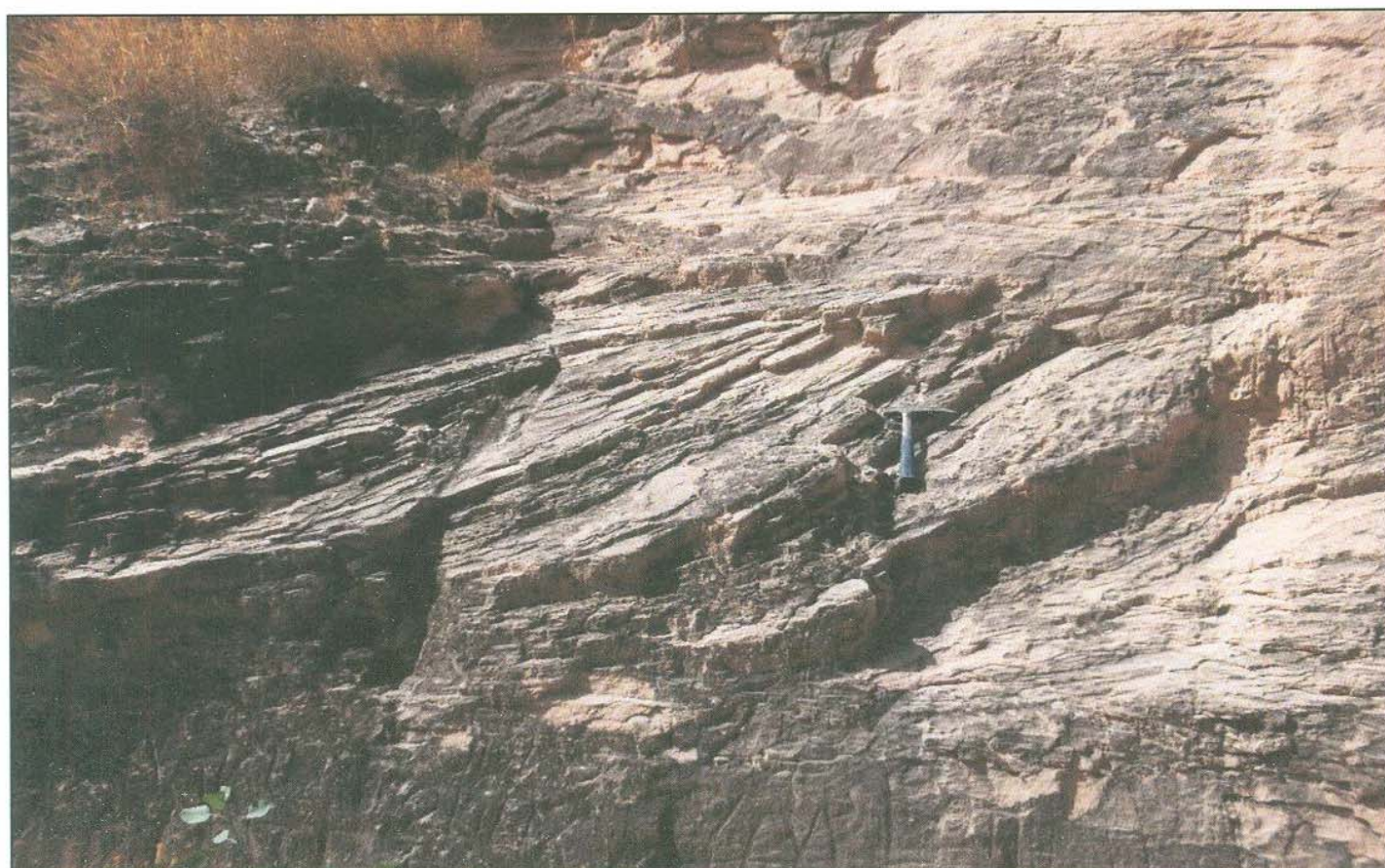


Figura 70. Imagen donde se observan estructuras de arrastre provocados por esfuerzos dentro del depósito de zeolita de San Pedro de Ures.

R. I. T. 170386