



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y GEOESTADÍSTICO DE LA CONCENTRACIÓN ELEMENTAL EN LOS SUELOS DE LAS COMUNAS DE QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA
VALERIA ANDREA ZAPATA AGUILÓ

PROFESORA GUÍA
LUISA PINTO LINCOÑIR

PROFESOR COGUÍA
MANUEL CARABALLO MONGE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS
FABIAN SOTO FERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE
2020

**RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE GEÓLOGA**

POR: Valeria Andrea Zapata Aguiló

FECHA: 07/07/2020

PROFESORA GUÍA: Luisa Pinto Lincoñir

**ANÁLISIS GEOQUÍMICO Y GEOESTADÍSTICO DE LA CONCENTRACIÓN
ELEMENTAL EN LOS SUELOS DE LAS COMUNAS DE QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ**

La zona de Quintero y Puchuncaví tiene una larga historia de contaminación asociada a la presencia del Complejo Industrial Ventanas dentro de estas comunas. La concentración de elementos traza y metales pesados en muestras de suelo usualmente es utilizada para evaluar contaminación. En esta investigación se pretende identificar las componentes natural y antrópica de los suelos de la zona mediante el análisis geoquímico y geoestadístico de las muestras obtenidas.

Se tomaron muestras en la capa superficial del suelo (0-15 cm) para evaluar contaminación en zonas rurales y en zonas con poblados. También se tomaron muestras de carácter agrológico fuera del área de estudio en 3 profundidades distintas (0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm) y muestras geológicas con el fin de determinar el valor del fondo geoquímico natural de la zona. La composición química de las muestras fue estudiada mediante digestión ácida seguida de análisis con ICP-MS, mientras que la composición mineralógica fue estudiada por difracción de rayos X. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico de los datos. Por un lado, se analizaron los métodos: promedio al 95% de confianza, MAD, TIF y percentil 95 para determinar el fondo geoquímico natural de las muestras agrológicas y geológicas y por otro lado, se realizó análisis de componentes principales para las muestras no urbanas y agrológicas. De manera análoga, los datos se normalizaron mediante el cálculo de un factor de enriquecimiento tomando como elemento conservativo al Sc, siendo estos datos interpolados espacialmente por medio de kriging ordinario.

Los principales resultados obtenidos exhiben un enriquecimiento significativo de Cu, Bi, As, Pb, Cd y Mo con una distribución espacial cercana al Complejo Industrial Ventanas y en los poblados de Ventanas, Quintero, Loncura y Puchuncaví. Estos elementos también se agrupan según el análisis de componentes principales en las muestras enriquecidas, es decir, se puede deducir que provienen de la misma fuente. Se observó otro grupo compuesto por V, Fe, Zn, Mn, Cr, Co, Mg, Ca, Na y Sc los que se asocian a la huella geoquímica de la componente natural de los suelos. Éstos poseen un enriquecimiento moderado a mínimo en la mayoría de los elementos, a excepción del Zn, Na, V y Fe para zonas específicas, no pudiendo descartar por completo que estos últimos elementos puedan provenir en parte de fuentes antropogénicas.

Es importante señalar que, a pesar de que el agrupamiento de Cu, Bi, As, Pb, Cd y Mo claramente marca un origen antrópico relacionado a la fundición de cobre, y aunque los suelos de la zona están enriquecidos y contaminados por estos elementos, esto no es suficiente motivo para que se tomen medidas de prevención y remediación, debido a que Chile carece de normativa legal que entregue umbrales de concentración máximos permisibles que regule la calidad de los suelos.

Por ti y para ti, mamá.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a Carlos Rodríguez de PGS quien facilito la base de datos y las muestras para poder realizar esta memoria de título. Al laboratorio de Pirometalurgia del Departamento de Ingeniería en Minas, quienes realizaron el análisis de difracción de rayos X.

Agradezco a los miembros de mi comisión, a la profesora Luisa y al profesor Brian, quienes con sus comentarios y observaciones ayudaron a que mejorara mucho más mi trabajo. A Fabián, por formar parte de este proyecto, quien estuvo siempre ahí para ayudarme con mis dudas estadísticas. Al profe Manuel, quien desde un principio depositó total confianza en mí y quien fue un gran guía para poder orientar mi trabajo. Gracias por la dedicación, disposición y tiempo que puso en mí y en este proyecto, que a pesar de ser sólo un *pet project*, sé que siempre fue un tema interesante por investigar.

Quiero agradecer a toda la gente que he conocido en mi paso por la universidad y que ha dejado una huella en mí. Desde mis inicios en Bachillerato, con los amigos que mantuve e hicieron posible aguantar el Plan Común y luego, a la gente que conocí dentro de Geología. A mis compañeros y amigos de generación, con los que siempre fue una agradable y entretenida experiencia ir a terreno. A las personas con las que compartí una pichanga en la cancha de 850, siendo el fútbol y el deporte una componente (y a veces un escape) importantísima para hacer grato y dinámico el día a día en la universidad. Gracias al Scott, quien me ayudó y enseñó a usar ArcGIS en un proyecto, y que sin duda, fue un gran aporte en mi formación académica. Gracias a los funcionarios del departamento de Geología, quienes siempre han sido muy amables y familiares en el trato con los estudiantes. Especialmente a la Blanca, quien siempre estuvo presente y preocupada con mucha paciencia en resolver y solucionar las múltiples dudas que se van generado en el transcurso de la carrera. Gracias a las personas y amigos de la salita con los que compartí el último tiempo en la universidad, quienes fueron un gran apoyo en este último proceso, compartiendo almuerzos, incertidumbres, pizzas y sacadas de vuelta.

Quiero agradecer a mi familia, quienes me han apoyado y acompañado en este largo paso por la universidad, brindándome todo su amor, preocupación y cariño. Gracias a mi papá, a la Caro, a mis hermanas Claudia y Natalia, al Puly, PP y Amanda por estar ahí. A las bebés, Antonia y Almendra, que llegaron durante mi formación universitaria y me han llenado de alegría. Gracias Fabi, por también acompañarme y apoyarme de todas las formas posibles en mi etapa universitaria, por la paciencia y amor durante todos estos años.

Finalmente, gracias a ti mamá, por siempre creer en mí y darme la fuerza y perseverancia para lograr mis metas. No alcancé a terminar antes, pero sé que estás orgullosa de mí.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Formulación del problema	1
1.2. Hipótesis de trabajo.....	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Zona de estudio	3
2.2. Antecedentes históricos y actividades industriales en la zona de estudio	4
2.3. Clima y régimen de vientos	8
2.4. Marco Geológico	10
2.4.1. Rocas volcanosedimentarias	10
2.4.1.1. Formación Ajial (Ja).....	10
2.4.1.2. Formación Caleta Horcón (Th).....	11
2.4.1.3. Formación Confluencia (Tc)	11
2.4.2. Intrusivos	11
2.4.2.1. Unidad Cochoa (Pzc).....	11
2.4.2.2. Superunidad Mincha.....	11
2.4.2.2.1. Unidad Puerto Oscuro (Jmi2).....	11
2.4.2.2.2. Unidad Tranquila (Jmi3)	12
2.4.2.2.3. Unidad Cavilolén (Jmi4)	12
2.4.3. Depósitos no consolidados	12
2.4.3.1. Sedimentos eólicos antiguos (Pqd)	12
2.4.3.2. Terrazas de depósitos marinos (Qtm)	12
2.4.3.3. Sedimentos eólicos y litorales recientes (Qel).....	12
2.4.3.4. Sedimentos aluviales y coluviales (Qac).....	12
2.5. Marco Agrológico.....	13
2.5.1. Definición y formación de suelos.....	13
2.5.2. Elementos traza y contaminación en suelos	14
2.5.3. Normativas internacionales sobre contaminación en suelos	16
2.5.4. Suelos de la zona de estudio.....	17
2.5.5. Series de suelo.....	17

2.5.5.1. Catapilco (CPC).....	18
2.5.5.2. Loncura (LNR)	18
2.5.5.3. Lo Vásquez (LVZ).....	19
3. METODOLOGÍA	
3.1. Antecedentes previos	20
3.2. Muestreo	20
3.1.1. Implementos utilizados en el muestreo	20
3.1.2. Toma de muestras.....	21
3.1.3. Plan de muestreo	21
3.1.3.1. Escala no urbana.....	22
3.1.3.2. Escala urbana.....	23
3.1.3.3. Muestreo en series agrológicas.....	25
3.1.3.4. Muestreo en roca	25
3.3. Análisis de laboratorio	25
3.3.1. Digestión ácida.....	26
1 3.3.2. ICP-MS.....	26
1 3.3.3. Difracción de Rayos X (DRX).....	27
3.4. Procesamiento de datos.....	27
3.4.1. Control de calidad y validación de datos	27
3.4.1.1. Límite de detección	27
3.4.1.2. Análisis de calidad de datos	28
3.4.1.3. Validación de base de datos	30
3.4.2. Cálculo de valores del fondo geoquímico natural.....	30
3.4.3. Análisis de Componentes Principales	33
3.4.4. Factor de Enriquecimiento (FE).....	34
3.4.5. Interpolación Espacial	35
4. RESULTADOS	
4.1. Estadística básica de la concentración de elementos en la zona de estudio y comparación con estándares internacionales de calidad de suelos.....	36
4.2. Cálculo de valores del fondo geoquímico a partir de muestras naturales.....	39
4.3. Factor de enriquecimiento (FE)	44
4.4. Análisis de componentes principales.....	50
4.5. Análisis mineralógico	53
5. DISCUSIONES	

5.1. Análisis de procedencia según concentraciones, enriquecimiento, asociaciones geoquímicas y mineralogía.	56
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
7. BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	
A. Control de Calidad de muestras	67
B. Análisis ICP-MS	71
C. Histogramas con concentraciones máximas aceptables.....	80
D. Diagramas de Caja	84
E. Factor de enriquecimiento y mapas factor de enriquecimiento	97
F. Análisis de Componentes Principales y Matriz de correlación de Pearson	114
G. Difractogramas.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Registro histórico del Complejo Industrial Ventanas.	5
Tabla 2.2: Macronutrientes y micronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos...	15
Tabla 2.3: Categorías de ocurrencia de los elementos traza en suelos.....	15
Tabla 2.4: Propuesta de concentraciones máximas aceptables (CMA) de elementos traza en suelos agrícolas (ppm).....	16
Tabla 3.1: Resumen de muestras tomadas en la zona de estudio.	22
Tabla 3.2: Elementos bajo el LDD con cantidad de muestras y % respectivo.....	28
Tabla 3.3: Cantidad de muestras por bloque de análisis de concentración con respectiva cantidad de blancos, duplicados y material certificado.	29
Tabla 4.1: Estadísticas básicas de datos geoquímicos obtenidos para muestras urbanas y no urbanas para los 19 elementos seleccionados.....	38
Tabla 4.2: Resumen estadístico de los 19 elementos analizados para las 61 muestras consideradas para el cálculo del fondo geoquímico natural.	39
Tabla 4.3: Comparación de métodos estadísticos para valor del fondo geoquímico de 19 elementos analizados.	40
Tabla 4.4: Cantidad de muestras y % respectivo a partir de su factor de enriquecimiento en categorías según Sutherland (2000) para los 19 elementos analizados.	46
Tabla 4.5: Resumen de fases minerales encontrados en difractogramas y semi-cuantificación de las 30 muestras analizadas.	55
Tabla A.1: Control de calidad de bloque 1 de muestras.....	67
Tabla A.2: Control de calidad de bloque 2 de muestras.....	69
Tabla A.3: Control de calidad de bloque 3 y 4 de muestras.....	70
Tabla B.1: Concentraciones químicas de los 19 elementos seleccionados para el estudio mediante análisis de ICP-MS.....	71
Tabla F.1: Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras agrológicas.	114

Tabla F.2: Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras agrológicas.	115
Tabla F.3: Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras no urbanas enriquecidas.	116
Tabla F.4: Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras no urbanas enriquecidas.	117
Tabla F.5: Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras no urbanas no enriquecidas.	118
Tabla F.6: Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras no urbanas no enriquecidas.	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Mapa general de la zona de estudio a escala 1:150.000.	3
Figura 2.2: Mapa a escala 1:25.000 de las principales empresas del CIV en la bahía de Quintero.	8
Figura 2.3: Porcentaje de casos de direcciones del viento a distintos períodos del día.	9
Figura 2.4: Comportamiento diario de la intensidad del viento promedio en noviembre 2013.	10
Figura 2.5: Comportamiento de la dirección y velocidad del viento en noviembre 2013.	10
Figura 2.6: Mapa geológico a escala 1:160.000 de la zona de estudio.	13
Figura 2.7: Mapa de ubicación de las series agrológicas en la zona de estudio.	19
Figura 3.1: Esquema de la recolección de muestras en cada punto.	21
Figura 3.2: Distribución de puntos muestreados a escala no urbana.	23
Figura 3.3: Ubicación de muestras a escala urbana.	24
Figura 4.1: Histograma de Cu para muestras urbanas y no urbanas.	36
Figura 4.2: Histograma para Cd para muestras urbanas y no urbanas.	37
Figura 4.3: Diagrama de caja Fe para series agrológicas y muestras geológicas.	41
Figura 4.4: Diagrama de caja para Cu para series agrológicas y muestras geológicas.	43
Figura 4.5: Factor de enriquecimiento para el Cobre a escala 1:150.000.	47
Figura 4.6: Comparación de mapas de factores de enriquecimiento para Cu, As y Pb a escala de 1:135.000.	48
Figura 4.7: Factor de enriquecimiento para el Hierro a escala 1:150.000.	49
Figura 4.8: ACP para muestras agrológicas.	51
Figura 4.9: ACP para zona no urbana enriquecida.	52
Figura 4.10: ACP para zona no urbana no enriquecida.	53
Figura C.1: Histograma de V para muestras urbanas y no urbanas.	80
Figura C.2: Histograma de As para muestras urbanas y no urbanas.	80
Figura C.3: Histograma de Zn para muestras urbanas y no urbanas.	81
Figura C.4: Histograma de Pb para muestras urbanas y no urbanas.	81
Figura C.5: Histograma de Mo para muestras urbanas y no urbanas.	82
Figura C.6: Histograma de Ni para muestras urbanas y no urbanas.	82
Figura C.7: Histograma de Cr para muestras urbanas y no urbanas.	83
Figura C.8: Histograma de Co para muestras urbanas y no urbanas.	83
Figura D.1: Diagrama de caja Na para series agrológicas y muestras geológicas.	84

Figura D.2: Diagrama de caja Mg para series agrológicas y muestras geológicas.....	85
Figura D.3: Diagrama de caja K para series agrológicas y muestras geológicas.....	85
Figura D.4: Diagrama de caja Ca para series agrológicas y muestras geológicas.....	86
Figura D.5: Diagrama de caja Bi para series agrológicas y muestras geológicas.....	86
Figura D.6: Diagrama de caja Sc para series agrológicas y muestras geológicas.....	87
Figura D.7: Diagrama de caja V para series agrológicas y muestras geológicas.....	87
Figura D.8: Diagrama de caja Cr para series agrológicas y muestras geológicas.....	88
Figura D.9: Diagrama de caja Mn para series agrológicas y muestras geológicas.....	89
Figura D.10: Diagrama de caja Co para series agrológicas y muestras geológicas.....	90
Figura D.11: Diagrama de caja Ni para series agrológicas y muestras geológicas.....	91
Figura D.12: Diagrama de caja Zn para series agrológicas y muestras geológicas.....	92
Figura D.13: Diagrama de caja As para series agrológicas y muestras geológicas.....	93
Figura D.14: Diagrama de caja Se para series agrológicas y muestras geológicas.....	94
Figura D.15: Diagrama de caja Mo para series agrológicas y muestras geológicas.....	94
Figura D.16: Diagrama de caja Cd para series agrológicas y muestras geológicas.....	95
Figura D.17: Diagrama de caja Pb para series agrológicas y muestras geológicas.....	96
Figura E.1: Porcentaje de muestras categorizadas en base a FE para elementos de interés.....	97
Figura E.2: Mapa de factor de enriquecimiento para Na a escala 1:150.000.....	98
Figura E.3: Mapa de factor de enriquecimiento para Mg a escala 1:150.000.....	99
Figura E.4: Mapa de factor de enriquecimiento para K a escala 1:150.000.....	100
Figura E.5: Mapa de factor de enriquecimiento para Ca a escala 1:150.000.....	101
Figura E.6: Mapa de factor de enriquecimiento para Bi a escala 1:150.000.....	102
Figura E.7: Mapa de factor de enriquecimiento para V a escala 1:150.000.....	103
Figura E.8: Mapa de factor de enriquecimiento para Cr a escala 1:150.000.....	104
Figura E.9: Mapa de factor de enriquecimiento para Mn a escala 1:150.000.....	105
Figura E.10: Mapa de factor de enriquecimiento para Co a escala 1:150.000.....	106
Figura E.11: Mapa de factor de enriquecimiento para Ni a escala 1:150.000.....	107
Figura E.12: Mapa de factor de enriquecimiento para Zn a escala 1:150.000.....	108
Figura E.13: Mapa de factor de enriquecimiento para As a escala 1:150.000.....	109
Figura E.14: Mapa de factor de enriquecimiento para Se a escala 1:150.000.....	110
Figura E.15: Mapa de factor de enriquecimiento para Mo a escala 1:150.000.....	111
Figura E.16: Mapa de factor de enriquecimiento para Cd a escala 1:150.000.....	112
Figura E.17: Mapa de factor de enriquecimiento para Pb a escala 1:150.000.....	113
Figura G.1: Difractograma para muestra NC48.....	120
Figura G.2: Difractograma para muestra OC38.....	121
Figura G.3: Difractograma para muestra OC40.....	122
Figura G.4: Difractograma para muestra OC42.....	122
Figura G.5: Difractograma para muestra OQ21.....	123
Figura G.6: Difractograma para muestra OV01.....	124
Figura G.7: Difractograma para muestra OV03.....	124
Figura G.8: Difractograma para muestra EC04.....	125
Figura G.9: Difractograma para muestra Loncura FB15.....	125
Figura G.10: Difractograma para muestra Loncura FA30.....	126
Figura G.11: Difractograma para muestra CC06.....	126
Figura G.12: Difractograma para muestra CC65.....	127
Figura G.13: Difractograma para muestra CC69.....	127

Figura G.14: Difractograma para muestra EC03.....	128
Figura G.15: Difractograma para muestra EC06.....	128
Figura G.16: Difractograma para muestra EC13.....	129
Figura G.17: Difractograma para muestra Lo Vásquez FA15.....	130
Figura G.18: Difractograma para muestra MM09.....	130
Figura G.19: Difractograma para muestra MM19.....	131
Figura G.20: Difractograma para muestra MM21.....	131
Figura G.21: Difractograma para muestra MP03.....	132
Figura G.22: Difractograma para muestra MQ02.....	132
Figura G.23: Difractograma para muestra MQ21.....	133
Figura G.24: Difractograma para muestra NC13.....	133
Figura G.25: Difractograma para muestra NC14.....	134
Figura G.26: Difractograma para muestra NC46.....	134
Figura G.27: Difractograma para muestra NC47.....	135
Figura G.28: Difractograma para muestra NQ03.....	135
Figura G.29: Difractograma para muestra SP04.....	136
Figura G.30: Difractograma para muestra SP12.....	136

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Formulación del problema

La zona costera de las comunas de Quintero y Puchuncaví corresponde a una de las zonas industriales más importantes del país. Esto se debe a diversos factores, entre ellos: a) su ubicación estratégica en el centro del país y su acceso portuario; b) la capacidad industrial instalada y la actividad económica asociada a ésta; c) la cercanía a centros urbanos que proveen de servicios y mano de obra; entre otros.

Es en la intersección de ambas comunas donde se emplaza el Complejo Industrial Ventanas (CIV) creado el año 1964 y que en la actualidad alberga 14 empresas de diversos rubros. Entre las principales actividades que se desarrollan en el complejo, se encuentran: fundición y refinación de cobre y metales asociados, generación de electricidad a través de termoeléctricas, almacenamiento de gas y petróleo, transporte de cargas peligrosas, actividades relacionadas a la industria química, entre otras.

Tal desarrollo de actividades industriales ha provocado la transformación del paisaje, el cambio de uso de los suelos y alteración de la vida de las comunidades. Estudios previos han demostrado el impacto de estas emisiones industriales. En ellos se concluye que las actividades de fundición han aumentado la concentración en el suelo de la zona de Cu, Pb y Cd (Chiang et al., 1985; González y Bergqvist 1986; González et al., 1992; Ginocchio, 2000; Ginocchio et al., 2004) y que las plantas termoeléctricas pueden contaminar el suelo por vía aérea a través de la deposición de emisiones gaseosas y material particulado (Godoy et al., 2005; Vejahati et al., 2010). A su vez, estos estudios también demuestran la presencia y dispersión de elementos traza en zonas cercanas a las fuentes emisoras.

A pesar de las múltiples investigaciones que abordan la temática de las emisiones atmosféricas provocadas por la industria y la contaminación de los suelos, hasta la fecha existe escasez de estudios que expliquen la relación existente entre la geoquímica y mineralogía de los suelos presentes en la zona asociables a una variante inequívocamente antrópica o a la composición geoquímica natural de los suelos. Por esta razón, en este trabajo de memoria se pretende realizar un análisis comparativo entre las componentes natural y antrópica de los suelos de la zona a través de un enfoque geoquímico y geoestadístico que clarifique la influencia del lugar en el que se encuentra inmerso. Asimismo, este estudio busca definir un fondo geoquímico natural a través de diversos métodos estadísticos que revele la concentración natural de los suelos de la zona y así, poder identificar un posible enriquecimiento de elementos de interés, con el objetivo de mostrar de manera espacial la afectación del suelo.

1.2. Hipótesis de trabajo

Existen concentraciones anómalamente elevadas de metales pesados en los suelos de las comunas de Quintero y Puchuncaví que pueden ser agrupados según su origen antropogénico o natural de acuerdo a su enriquecimiento, las asociaciones geoquímicas que forman y a su distribución espacial.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Generar información geoquímica y geoestadística de los suelos de las comunas de Quintero y Puchuncaví que permita discernir entre la componente natural y antrópica de éstos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Generar valores de fondo geoquímico representativos de la componente natural de los suelos de la zona de estudio, mediante la comparación de diversos métodos estadísticos.
- Buscar la signatura geoquímica de los suelos naturales y contaminados por medio de la agrupación de elementos por análisis de componentes principales.
- Cuantificar y evaluar el enriquecimiento en la zona de estudio por medio de mapas geoestadísticos para elementos potencialmente contaminantes y diferenciarlos de elementos no contaminantes o de origen natural.
- Caracterizar la mineralogía de alguna de las muestras de suelo para asociarlas a una fuente determinada por medio de la difracción de rayos X.
- Conjuguar la variante geoquímica con la geoestadística para evaluar el origen antrópico de las concentraciones elevadas cercanas al Complejo Industrial Ventanas.
- Conjuguar la variante geoquímica con la geoestadística para identificar suelos de origen natural.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Zona de estudio

El área de estudio se ubica en la región de Valparaíso, específicamente dentro de las comunas de Puchuncaví y Quintero, encontrándose en el sector norte de la provincia de Valparaíso. La zona de estudio abarca un área total de 448 km². La comuna de Puchuncaví posee una superficie de 300 km², mientras que la comuna de Quintero una superficie de 148 km². De acuerdo a las estimaciones del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) del censo 2017, la población corresponde a 18.546 habitantes en Puchuncaví y 31.923 habitantes en Quintero. Las localidades urbanas consideradas en este estudio corresponden a Maitencillo, Horcón, Ventanas, Puchuncaví, Loncura y Quintero (Figura 2.1).

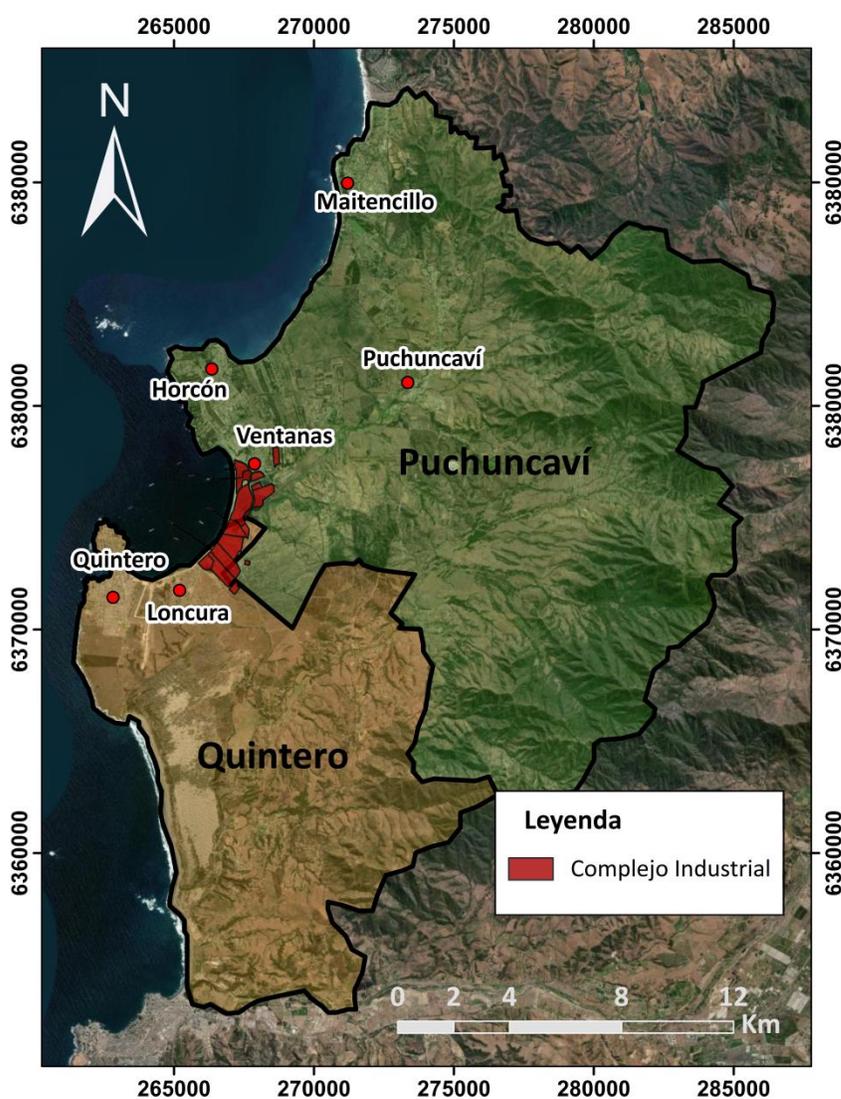


Figura 2.1: Mapa general de la zona de estudio a escala 1:160.000. Elaboración propia a partir de Basemap ArcGIS 10.4.

2.2. Antecedentes históricos y actividades industriales en la zona de estudio

El Complejo Industrial Ventanas (en adelante CIV) se encuentra en la localidad de Ventanas (área en rojo en Figura 2.1), ubicado en la comuna de Puchuncaví y en parte de la comuna de Quintero (zona sur). Los inicios se remontan a finales de la década del 50, con la entrada en funcionamiento de la termoeléctrica propiedad de Chilectra (actualmente AES GENER) en 1958. En ese mismo período, se inició la construcción de la fundición de metales de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) la que fue inaugurada en 1964 y que actualmente pertenece a Codelco División Ventanas (Codelco Transparente, s/f).

El lugar fue oficialmente inaugurado como CIV el 12 de febrero de 1961. Las actividades industriales desarrolladas en el complejo fueron aumentando en el tiempo, principalmente por la modificación del plan regulador intercomunal en 1987 en relación a los límites urbanos de la ciudad, límites para el establecimiento de zonas industriales y tipología de industrias, entre otras.

El registro histórico del CIV se puede resumir en una serie de hitos, los cuales se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 2.1: Registro histórico del Complejo Industrial Ventanas. Modificado de PRAS (2016).

Año	Hito
1958	Instalación Chilectra.
1964	Puesta en marcha de la Fundición ENAMI Ventanas.
1966	Puesta en marcha de Termoeléctrica Ventanas I. Potencia de 120 MW. Funciona a vapor y carboncillo. Primera chimenea de termoeléctrica.
1966	Establecimiento de unidad de electrorefinación de cátodos de Cobre. en Refinería Ventanas y Planta de Metales Nobles.
1966	Se construye Puerto Ventanas (Chile GENER).
1968	La chimenea de ENAMI Ventanas se alarga a 70 m.
1977	Puesta en marcha de Termoeléctrica Ventanas II. Potencia de 220 MW. Funciona a vapor y carboncillo.
1981	Terminal marítimo de Oxiquim.
1991	Instalación Planta de Recuperación de ácido sulfúrico (CODELCO Ventanas).
1991	Puerto Ventanas pasa a ser Puerto Ventanas S.A y se amplía su capacidad.
1992	Se aprueba red de monitoreo de SO ₂ y MP10 para dar cumplimiento al decreto supremo N°185/91.
1992	Se construye el terminal marítimo GASMAR para distribución de gas licuado.
1993	Se promulga decreto supremo N°346/93 "Declara zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado al área circundante al CIV".
1995	Se implementa Plan de descontaminación Ventanas.
1995	Se construye bodega par graneles limpios de Puerto Ventanas S.A.
1996	Empresa Melón construye domo de almacenamiento.
1998	Se promulga D.S. N° 59/98 "Norma de Calidad Primaria para MP 10".
2000	Se construye Terminal de Asfaltos y Combustibles Cordex (almacena y distribuye petróleo y derivados).
2001	Se construye bodega de almacenamiento de cobre en Puerto Ventanas (contrato con Angloamerican).
2002	Se promulga D.S. N° 113/ 2002 "Norma de Calidad Primaria de Aire para Dióxido de Azufre (SO ₂)".
2004	Se instala COPEC Planta de lubricantes Loncura.
2006	Se instala Central Termoeléctrica Nueva Ventanas (Gener).
2008	Se instala Central Termoeléctrica Campiche (empresa eléctrica Campiche).
2009	Entra en funcionamiento GNL Quintero, terminal marítimo de gasificación de gas licuado (ENAP).
2010	Entra en Funcionamiento la termoeléctrica Nueva Ventanas (Gener).
2011	Se da inicio al proceso de regulación de Fundiciones de cobre (Res. N°300 MMA).
2011	Se promulga Norma de emisión de termoeléctricas (D.S N° 13 MMA).
2013	Ampliación Terminal Marítimo Quintero Oxiquim S.A.
2016	Actualización del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas Concón, Quintero y Puchuncaví.

La instalación y el crecimiento del parque industrial ha generado problemas ambientales en la zona, lo que implicó que en la década de los ochenta se desarrollaran los primeros estudios a nivel de contaminación en el agua y suelo, así como de la salud de los trabajadores de la refinería y la fundición. En el año 1992 se reconoció el alto nivel de contaminación en el aire en la zona, por lo que se creó un plan de descontaminación del CIV (propuesto por ENAMI y Chile GENER) y aprobado por el Decreto Supremo N° 252/92 del Ministerio de Minería. En tanto, en 1993 el Ministerio de Agricultura, por medio del Decreto Supremo N°346/93, declaró Puchuncaví y

Quintero como zona saturada de contaminación por anhídrido sulfuroso y material particulado (Programa para la Recuperación Ambiental y Social, MMA, s/f). En diciembre de 2011, la División Ventanas de Codelco, junto a otras 10 empresas del barrio industrial Quintero-Puchuncaví, firmó un Acuerdo de Producción Limpia (APL) para mejorar las condiciones ambientales y la calidad de vida de los habitantes de estas comunas de la V región.

Actualmente, los tipos de actividades industriales que se llevan a cabo en el complejo de Ventanas consisten en: refinería de cobre y metales asociados, actividades relacionadas a la industria química, almacenamiento de gas y petróleo, transporte de cargas peligrosas, generación de electricidad (termoeléctricas), entre otras.

Las principales empresas que conforman este polo industrial y que ejecutan las actividades antes mencionadas son las siguientes:

- **CODELCO Ventanas:** es una fundición y refinería en donde se procesan los concentrados de cobre que produce cátodos de cobre. Los gases generados (monóxidos y dióxidos) en dichos procesos son utilizados para producir ácido sulfúrico (H_2SO_4). Las principales emisiones corresponden a dióxido de azufre (SO_2), material particulado (MP), Residuos Peligrosos (RESPEL), arsénico (As) y otros metales.
- **AES GENER:** la central termoeléctrica Ventanas está conformada por 4 termoeléctricas con una potencia total de aproximadamente 884 MW es la más grande de Chile. La central Ventanas I (1964) y Ventanas II (1977) cuentan con una capacidad combinada de 340 MW y funcionan en base a carbón. La Central Nueva Ventanas (2010) posee una caldera con tecnología de combustión de lecho fluidizado circulante y una potencia de 272 MW. Utiliza carbón o una mezcla carbón-petróleo. Campiche (2013) es una central termoeléctrica con tecnología de combustión de carbón pulverizado (PC) con una capacidad de 272 MW. Las principales emisiones emitidas en el proceso de combustión de termoeléctricas corresponden a material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), emisiones fugitivas, Residuos Sólidos Peligrosos (RESPEL) y Residuos Industriales Líquidos (RILES).
- **COPEC:** la Planta de Almacenamiento de Combustibles y el Terminal Marítimo (TPI) potencia la capacidad de importación y almacenamiento de combustibles líquidos de la zona central y puede almacenar hasta 75 mil m^3 de diésel, 60 mil m^3 de gasolina y 15 mil m^3 de kerosén de aviación.
- **Oxiqum:** cuenta con dos establecimientos, un terminal marítimo que descarga gráneles líquidos-metanol, estireno, acetato de etilo, entre otros a través de ductos de descarga instalados en su muelle y un establecimiento de molienda de sustancias granulares. Las principales emisiones generadas durante las operaciones corresponde a dióxido de azufre (SO_2), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Material Particulado (MP_{10}), Residuos Industriales Líquidos (RILES) y Residuos Sólidos.

- **Terminal de Gas Natural Licuado Quintero (GNL):** terminal de recepción, almacenamiento y regasificación de Gas Natural Licuado que abastece de gas natural, a la zona central de Chile. El terminal ocupa una superficie de 40 hectáreas en el cual se construyeron los principales componentes de la planta: un muelle, tres estanques de almacenamiento que permiten la descarga de GNL y su almacenamiento, y una planta de regasificación. Las principales emisiones generadas durante las operaciones corresponden a dióxido de azufre (SO₂), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Material Particulado (MP₁₀), Residuos Industriales Líquidos (RILES) y Residuos Sólidos.
- **GASMAR:** planta en la que se descarga y carga gas licuado del petróleo (LPG) desde barcos y se almacena en estanques de fondo plano. GASMAR cuenta con cinco estanques de almacenamiento de gas licuado refrigerado, que suman una capacidad de 145 mil m³. Las principales emisiones generadas durante las operaciones corresponden a dióxido de azufre (SO₂), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Material Particulado (MP), CO, Residuos Líquidos y Residuos Sólidos.
- **Cementos Melón:** posee un centro de acopio tipo domo para el almacenamiento de clinker-bauxita (compuestos empleados para la elaboración de cemento). Las emisiones generadas corresponden a Material Particulado (MP), residuos sólidos y descarga de líquidos.
- **ENAP:** cuenta con el Terminal Marítimo ENAP Quintero correspondiente a una serie de instalaciones terrestres y marítimas destinadas a cargar y descargar buques, almacenando y transfiriendo petróleo y sus productos derivados entre la Refinería de ENAP en Concón y dicho terminal marítimo.
- **ENDESA:** la central Quintero es una planta termoeléctrica la que permanece la mayor parte del tiempo en reserva, ya que responde a requerimientos del SIC (Sistema Interconectado Central). Está diseñada para generar energía a partir de GNL y diesel A1 (se utiliza cuando se presenta la indisponibilidad de GNL o en caso de emergencias). Posee una potencia instalada total de aproximadamente 257 MW.

En la Figura 2.2 se puede observar la disposición espacial de las empresas en el CIV.

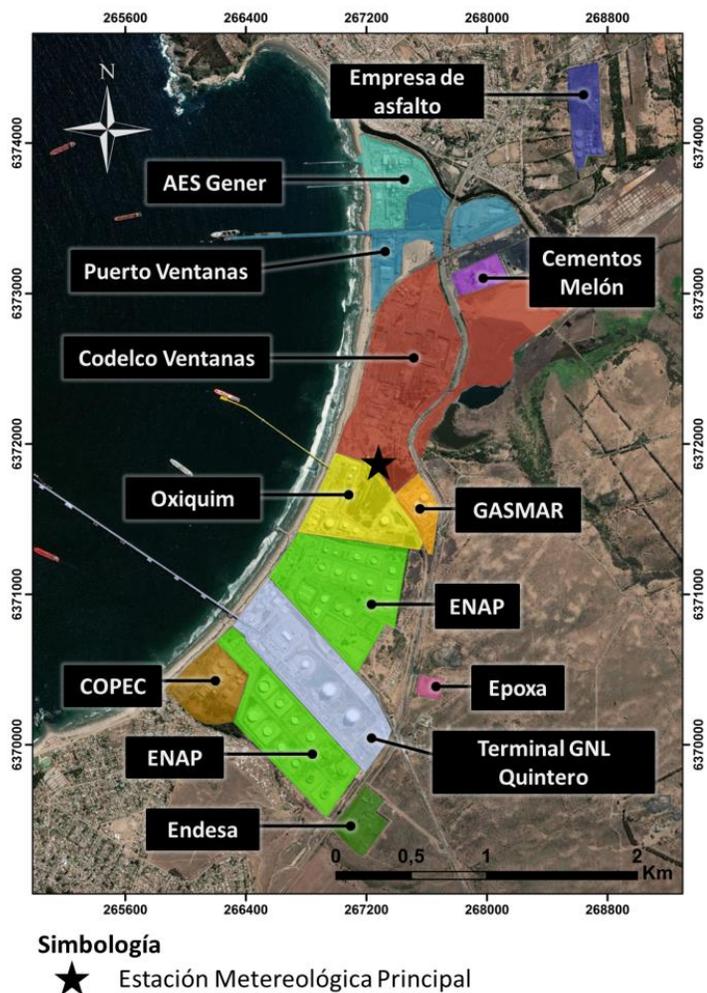


Figura 2.2: Mapa a escala 1:25.000 de las principales empresas del CIV en la bahía de Quintero. Elaboración propia a partir de Basemap ArcGIS 10.4.

2.3. Clima y régimen de vientos

El clima de la zona de estudio se clasifica como templado; con lluvias invernales, gran nubosidad y veranos secos. La temperatura anual media diaria es de 12,7°C, mientras que temperatura máxima promedio diaria es de 17,7°C y la temperatura mínima promedio diaria es de 8°C. Existe oscilación térmica anual donde el mes más cálido es febrero con una media de 17.1°C (máxima absoluta de 23,3°C y mínima absoluta de 7,5°C) y el mes más frío es julio con una media de 8,6°C (máxima absoluta de 20,3°C y mínima absoluta de -1,2°C). Además, se presentan nieblas matinales y la humedad relativa media es de 83% (Dirección Meteorológica de Chile, 2019).

En cuanto al régimen de vientos, se utilizó la información de la red meteorológica de CDV (Complejo División Ventanas) y AES Gener. La estación meteorológica utilizada es la llamada Principal que se ubica en el mismo Complejo Industrial (ubicada con una estrella negra en Figura

2.2). Es importante mencionar que la rosa de los vientos asigna los vientos de acuerdo a la dirección de donde provienen, es decir, desde donde sopla el viento.

La dirección predominante del viento varía según el ciclo diario y también estacional (período del año). En la Figura 2.3A se puede observar que en noviembre, las direcciones del viento que presentaron una mayor frecuencia fueron de componente oeste (NW a SW), seguida de la dirección este (NE a SE) (SGS, 2013). Por tanto en esta época del año, prevalece la componente oeste sobre la del este. Por el contrario, en la Figura 2.3B se observa que en mayo la componente este presenta una mayor frecuencia de los casos y la componente oeste una menor cantidad de casos (SGS, 2014). Es decir, predomina la componente este por sobre la del oeste.

Respecto al ciclo diario, entre las 1 y 8 horas (noche y madrugada) se presentan vientos de componente predominante este, es decir, desde el valle hacia el mar. Entre las 9 y 16 horas (mañana y tarde) se observan componentes definidas del oeste producto de la brisa del mar hacia el valle. En tanto, entre las 17 y 24 horas (tarde y noche) se verifica una componente bimodal, donde dominan tanto las componentes oeste-suroeste y este asociado a períodos de transición del viento. Esto sucede de manera similar a grandes rasgos en ambos períodos del año.

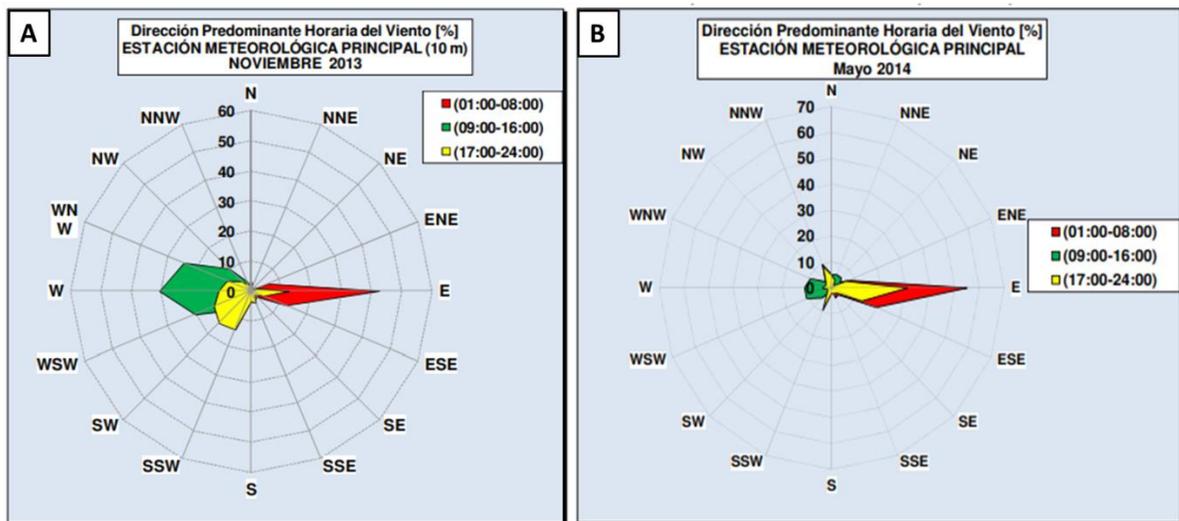


Figura 2.3: Porcentaje de casos de direcciones del viento a distintos períodos del día. A: Noviembre 2013. B: Mayo 2014. (SGS, 2013; SGS, 2014).

La intensidad del viento se incrementa a partir de las 10 de la mañana y disminuye a partir de las 21 horas, mientras que los máximos de velocidad se producen alrededor de las 15 horas (Figura 2.4). Los vientos que provienen del oeste presentan una mayor velocidad en relación a los vientos del este. Los vientos menores a 1,5 m/s se asocian a la componente este y al período nocturno, en tanto en el rango entre 1,6-5,5 m/s se asocian a la componente oeste y al período diurno. Los valores de vientos más intensos mayores a 5,6 m/s se presentan en horas de la tarde asociados típicamente a una componente del suroeste (Figura 2.5).

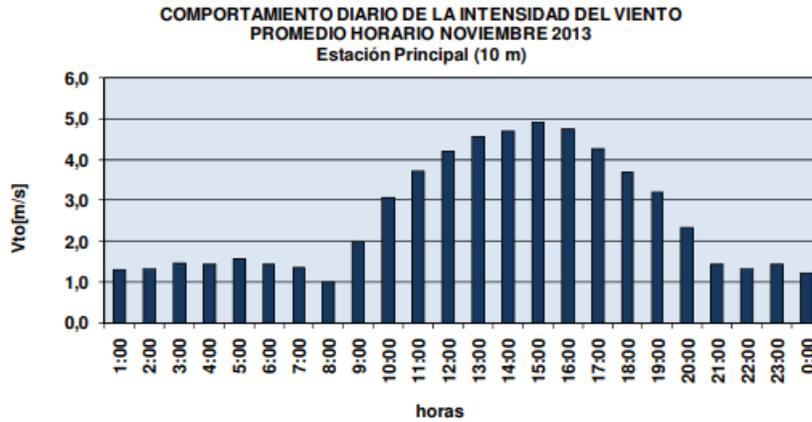


Figura 2.4: Comportamiento diario de la intensidad del viento promedio en noviembre 2013 (SGS, 2013).

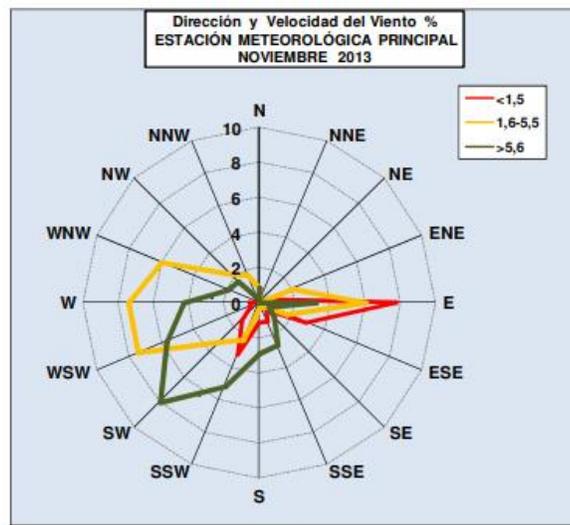


Figura 2.5: Comportamiento de la dirección y velocidad del viento en noviembre 2013(SGS, 2013).

2.4. Marco Geológico

La disposición de las principales unidades y formaciones geológicas de la zona de estudio puede observarse en la Figura 2.6.

2.4.1. Rocas volcanosedimentarias

2.4.1.1. Formación Ajial (Ja)

Se encuentra en el sector oriental y montañoso de la zona de estudio. Pertenecen a rocas formadas durante el Jurásico. La Formación Ajial está compuesta por tobas, brechas volcánicas y lavas andesíticas-basálticas y riódacíticas, asociados a pórfidos andesíticos-dacíticos y con escasas intercalaciones sedimentarias de conglomerados, areniscas y pelitas calcáreas. Los niveles

sedimentarios muestran a menudo pliegues sinsedimentarios con orientación irregular, figuras de carga y estratificación cruzada. (Thomas, 1958; Piraces y Maksaev, 1997).

2.4.1.2. Formación Caleta Horcón (Th)

Está representado en el sector costero de la zona de estudio y aflora a lo largo del acantilado costero entre Maitencillo y Horcón. Corresponden a depósitos marino costeros del Neógeno. Está compuesta predominantemente por areniscas, en partes arcillosas, por arcillolitas y limolitas y se encuentran como sedimentos poco consolidados (Thomas 1958).

2.4.1.3. Formación Confluencia (Tc)

Corresponden a una secuencia de gravas y ripios del Neógeno con intercalaciones de arenas poco consolidadas que se distribuyen en terrazas altas y con potencias de 50 a 100 m las que muestran una distribución superficial parcialmente concordante con el sistema hidrográfico actual. Aflora en la parte central de la zona de estudio, rodeada de los depósitos no consolidados (Rivano y Sepúlveda, 1991). La secuencia engrana lateralmente con la Formación Caleta Horcón (Españeira, 1989) y son cubiertos a su vez por sedimentos eólicos y aluvionales mas nuevos.

2.4.2. Intrusivos

2.4.2.1. Unidad Cochoa (Pzc)

Se encuentra al sur de la comuna de Quintero dentro de la zona de estudio. La Unidad Cochoa se define como el batolito del paleozoico compuesto por granitoides leucocráticos a mesocráticos que afloran entre Concón y Reñaca, y cuya composición varía desde granodioritas a tonalitas gnéissicas de grano grueso de colores blanquecino a rosáceo (Españeira, 1989).

2.4.2.2. Superunidad Mincha

Constituye una franja de intrusivo del Meso-Ceonozoico y conforma gran parte de la Cordillera de la Costa y Planicies litorales (aproximadamente 40%) con un ancho promedio de 15 km y un máximo de 35 km. Los intrusivos de la Superunidad Mincha intruyen a rocas paleozoicas como la Unidad Cochoa y son cubiertos por sedimentos consolidados y no consolidados del Neógeno y Cuaternario (Rivano, 1985).

2.4.2.2.1. Unidad Puerto Oscuro (Jmi2)

La Unidad Puerto Oscuro aflora en dos cuerpos batolíticos de forma irregular. Dentro de la zona de estudio se encuentra en la parte Norte de la comuna de Puchuncaví. Esta unidad se distingue por sus colores oscuros a gris verdoso, debido a su alto contenido en máficos. Está compuesta por dioritas cuarcíferas de piroxeno y/o anfíbola; monzodioritas de hiperstena y biotita; gabros de piroxeno y olivino gris verdoso (Rivano, 1985).

2.4.2.2. Unidad Tranquila (Jmi3)

Las rocas de esta unidad corresponden a leucotonalitas amarillentas a rosáceas e intruidos por numerosos cuerpos pequeños (stocks y filones) de composición diorítica y de colores grises a negros y que corresponden a cuerpos menores de la Unidad Puerto Oscuro (Espiñeira, 1989).

2.4.2.3. Unidad Cavilón (Jmi4)

Es la unidad más extensa de las unidades intrusivas jurásicas, aflora en grandes plutones batolíticos y cuerpos menores asociados. Las rocas de esta unidad intruyen a todas las unidades estratificadas del Triásico-Jurásico y a la unidad intrusiva Cochoa del Paleozoico. Corresponden a granodioritas, tonalitas y más raramente, a ronzogranitos de biotita, hornblenda y en menor proporción, clinopiroxenos (Rivano, 1985).

2.4.3. Depósitos no consolidados

2.4.3.1. Sedimentos eólicos antiguos (Pqd) (Unidad informal)

Los sedimentos eólicos antiguos (Paleodunas) se reconocen a todo lo largo de la costa en lugares discretos. Forman superficies suavemente onduladas que cubren parcialmente las terrazas costeras, depositándose sobre los depósitos de la Formación Horcón y sobre unidades más antiguas tales como los granitoides de la superunidades Cochoa y Mincha (Rivano, 1993).

2.4.3.2. Terrazas de depósitos marinos (Qtm) (Unidad informal).

Esta unidad (que en estricto rigor corresponde a una unidad morfológica) está formada por pequeñas terrazas que aparecen en Cachagua y Quintero. Estas terrazas, de extensión reducida, están labradas sobre sedimentos marino-litorales cubiertos lateralmente por paleodunas, probablemente correspondientes a la Formación Horcón (Rivano, 1993).

2.4.3.3. Sedimentos eólicos y litorales recientes (Qel)

Estos sedimentos corresponden al período del Cuaternario. Representan acumulaciones costeras expuestas bajo la forma playas actuales y dunas, respectivamente; se ubican adyacentes a la franja costera y su desarrollo está directamente relacionado con los rasgos morfológicos actuales (Rivano, 1993).

2.4.3.4. Sedimentos aluviales y coluviales (Qac)

Estos sedimentos corresponden al período del Cuaternario. Los sedimentos aluviales, coluviales y depósitos de relleno de valles están relacionados a los cursos de agua actuales. Están formados por acumulaciones de gravas y ripios, regular a mal estratificados, y por arenas y limos, con buena estratificación (Rivano, 1993).

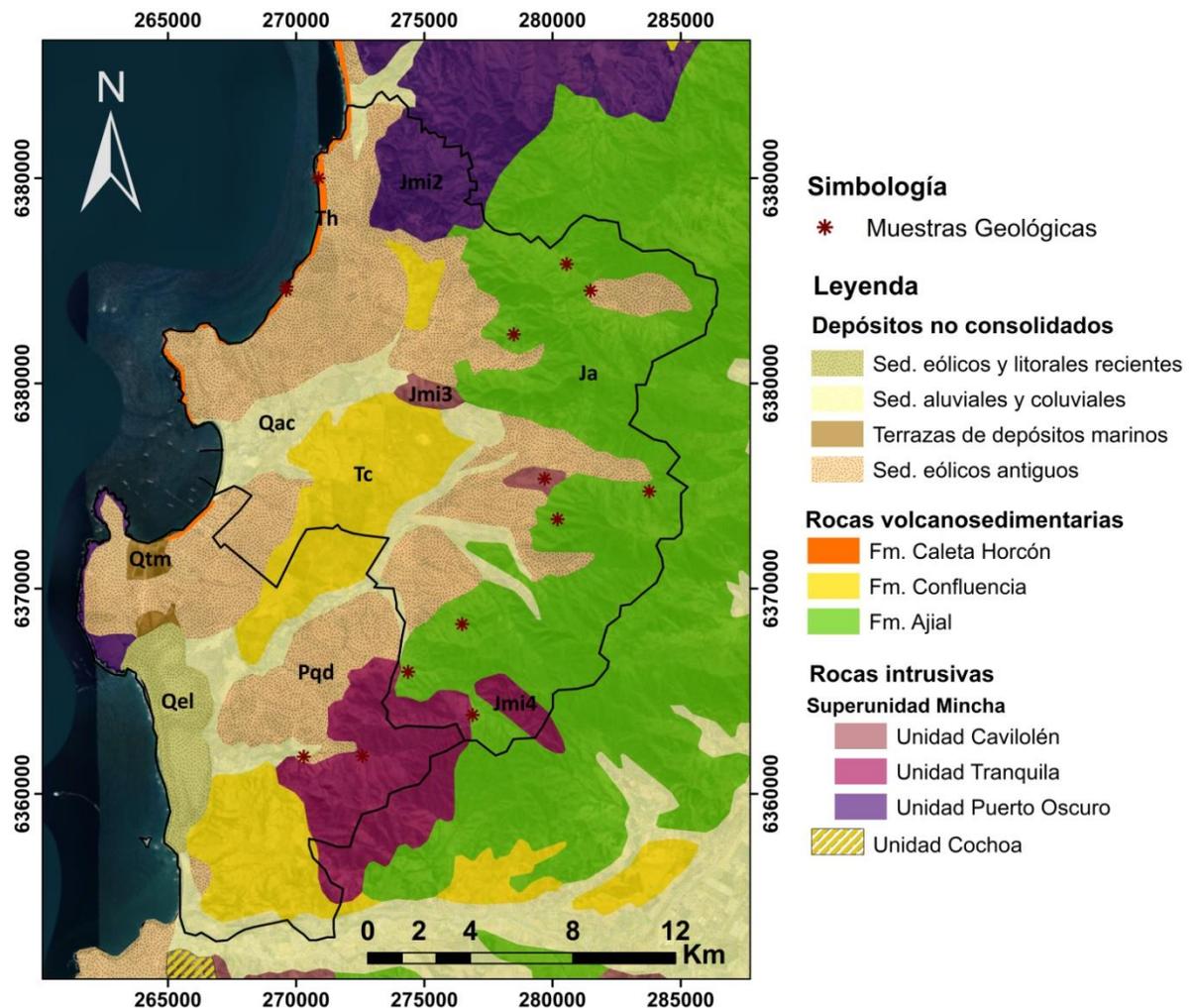


Figura 2.6: Mapa geológico a escala 1:160.000 de la zona de estudio. Elaboración propia en base a Hoja Quillota-Portillo (Rivano et al., 1993).

2.5. Marco Agrológico

2.5.1. Definición y formación de suelos

El suelo se define como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio biológico. El suelo tiene cuatro componentes importantes: minerales, materia orgánica, aire y agua. La fase sólida (mineral y orgánica) ocupa generalmente hasta el 50% de su volumen total. El resto lo ocupan la fase líquida (agua) y la fase gaseosa (aire), las que mantienen una proporción complementaria al llenar los poros que se originan entre los agregados y las partículas de la fase sólida (Fassbender, 1987).

Las características de cada suelo están determinadas por la interacción de los cinco factores principales de su formación y se expresa de la siguiente manera (Jenny, 1941):

$$S = f(\text{cl, mp, o, r, t})$$

Donde el suelo (S) corresponde a una función del clima (cl), material parental (mp), organismos vivos (o), relieve (r) y tiempo (t). La interacción entre los factores de formación de suelo genera un equilibrio dinámico. Para cada factor formador se tienen en cuenta distintas variables. Respecto al clima interesan principalmente las precipitaciones y la temperatura, aunque también se considera la radiación solar y la evaporación de agua. Entre los organismos vivos se considera a la vegetación natural, la macro y mesofauna; y los microorganismos. Del factor material originario se considera el tipo de roca y minerales que la componen, además del tipo de depósito o sedimento sobre el que se formó el suelo. El factor relieve corresponde a la forma de terreno y la pendiente. El tiempo es un factor formador especial, ya que la edad de un suelo debe expresarse por su grado de desarrollo y madurez, no por el número absoluto de años que tiene (Sanzano, 2019).

Según Fassbender, la formación de los suelos comprende dos procesos diferentes: la meteorización del material parental y el desarrollo del perfil del suelo; el que se desarrolla a partir del material meteorizado. Estos procesos ocurren en los suelos formados “in situ” simultáneamente; en suelos desarrollados sobre sedimentos, el material meteorizado es transportado por el agua, aire o hielo y al ser depositado, empieza el proceso de formación del perfil.

La meteorización agrupa una serie de procesos de desintegración y descomposición de las rocas y minerales. Estos procesos pueden ser divididos en físicos, químicos y biológicos. La meteorización física genera la desintegración o pulverización de la roca madre, generando la disminución del tamaño de las partículas. La meteorización química consiste en la transformación de la composición de los materiales, lo que se traduce en varios procesos químicos tales como: disolución, hidrólisis, oxidación, hidratación y acidificación. En tanto, aquellos procesos que resultan de la acción de microorganismos se agrupan dentro de la meteorización biológica (Fassbender, 1987).

2.5.2. Elementos traza y contaminación en suelos (Galán & Romero, 2008)

Los elementos traza están presentes en relativamente bajas concentraciones en la corteza terrestre, suelos y plantas (mg de elemento/kg muestra o ppm). Algunos de ellos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de plantas, animales y seres humanos, aunque también pueden ser considerados como tóxicos si supera ciertos umbrales (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Macronutrientes y micronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos. Los metales en paréntesis pueden ser esenciales. Elaboración propia a partir de recopilación de distintas fuentes por Siegel, 2002.

Tipo de nutrientes	Elementos traza
Macronutrientes (100 mg o más por día)	Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S
Micronutrientes esenciales (unos pocos mg o µg/día)	As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn
Otros micronutrientes esenciales	F, I, Si
No esenciales	Be, Cd, Hg, (Ni), Pb, Sb, (Sn), Ti

Los elementos traza más abundantes en los suelos pueden clasificarse en cinco categorías de acuerdo con la forma química en que se encuentran en las soluciones del suelo (Tabla 2.3). Estas categorías no son excluyentes, ya que algunos elementos pueden aparecer de más de una forma.

Tabla 2.3: Categorías de ocurrencia de los elementos traza en suelos. Elaboración propia a partir de Galán & Romero, 2008.

Categorías	Ejemplos
Cationes	Ag ⁺ Cd ⁺² Co ⁺² Cr ⁺³ Cu ⁺² Hg ⁺² Ni ⁺² Pb ⁺² Zn ⁺²
Metales Nativos	Hg V
Oxianiones	AsO ₄ ⁻³ CrO ₄ ⁻² MnO ₄ ⁻² HSeO ₃ ⁻ SeO ₄ ⁻²
Halogenuros	F ⁻ Cl ⁻ Br ⁻ I ⁻
Organocomplejos	Ag As Hg Se Te Tl

De todos los elementos traza encontrados en suelos, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y a la vez fácilmente disponibles en muchos suelos en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad. Éstos son: Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl, Zn. De ellos, diez son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida las de los procesos geogénicos. Éste es el caso de: Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl.

Los elementos traza en los suelos pueden ser de origen geogénico o antropogénico. Los primeros dependen en gran medida de la geodisponibilidad, es decir, aquella porción de un elemento que puede liberarse a la superficie o cerca de la superficie (o biosfera) por procesos de meteorización, emisiones volcánicas o lixiviados de minerales. La geodisponibilidad de los elementos de las rocas y su aportación al suelo es insignificante en relación con las derivadas de las acciones antropogénicas. Por lo general, los elementos traza suelen ser muy estables en el suelo y en el proceso natural de su formación a partir de la roca madre se concentran, pero sin sobrepasar los umbrales de toxicidad, y aunque así fuera, estos metales se encuentran en formas estables y por

tanto, poco disponibles. Las principales fuentes antropogénicas de elementos traza en suelos, pueden ser: actividades agrícolas, generación de energía eléctrica, actividades industriales, minería y residuos domésticos.

Un suelo contaminado presenta siempre un valor anómalo de un elemento en comparación al valor normal para ese tipo de suelo. Sin embargo, los valores normales de concentración de elementos traza varían de un lugar a otro, ya que actualmente no existen suelos vírgenes no contaminados en el mundo. Además, el grado de contaminación de un suelo no depende solamente de su alta concentración, sino también existen otros criterios a tener en consideración, tales como: la biodisponibilidad, movilidad, persistencia y carga crítica. Por tanto, declarar un suelo como contaminado es una tarea difícil, ya que tanto la naturaleza del suelo como la normativa (a veces inexistente) es diferente en cada lugar.

2.5.3. Normativas internacionales sobre contaminación en suelos

En la actualidad, no existe una normativa legal que establezca concentraciones límite para elementos traza o metales pesados en suelos del país. Esto es un desafío, ya que cada suelo es distinto y se ve afectado por la litología del material parental, el clima, el relieve, entre otros factores; y debido a la gran diversidad climática, geomorfológica y geológica en Chile, esto lo hace aún más complicado.

Existen otros países donde el estudio de suelos, sus niveles de fondo geoquímico natural y de contaminación están mucho más desarrollados en relación a Chile. Por tanto, a modo de referencia, se presenta un resumen con las concentraciones máximas aceptables para elementos de interés en algunos países del mundo (Tabla 2.4).

Tabla 2.4: Propuesta de concentraciones máximas aceptables (CMA) de elementos traza en suelos agrícolas (ppm). Elaboración propia a partir de ^a Kabata-Pendias (2001); ^b Bundes-Bodenschutzgesetz (1998); ^c Australian Department of Environment and Conservation (2010); ^d Canadian Council of Ministers of the Environment (2007); ^e Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (2000).

Elemento traza	Austria ^a 1977	Polonia ^a 1977 & 1993	Alemania ^{a,b} 1984 & 1998	Australia ^c 2007	Canadá ^d 2010	Holanda ^e 2000
As	50	30	20	20	12	29
Cd	5	1-3	1,5	3	1,4	0,8
Co	50	50	-	50	-	9
Cr	100	50 -80	100	400	64	100
Cu	100	30-70	60	100	63	36
Mo	10	10	-	40	-	3
Ni	100	30-75	70	60	50	35
Pb	100	70-150	100	600	70	85
V	-	150	-	50	130	42
Zn	300	100-300	200	200	200	140

2.5.4. Suelos de la zona de estudio (Luzio, 2010)

Los suelos de las comunas de Puchuncaví y Quintero se encuentran en la denominada “Zona Mediterránea Árida” (desde 32°00'S hasta 37°45'S) según la clasificación de Luzio, 2010. El relieve actual se generó durante el período del Cuaternario. Las unidades morfológicas presentes en la zona corresponden a la Cordillera de la Costa junto a las planicies litorales y terrazas marinas. La Cordillera de la Costa tiene un ancho variable de unos 30-40 km con alturas máximas de 1000 msnm en la zona de estudio. La planicie litoral es una formación discontinua que se caracteriza por superficies planas con un relieve poco pronunciado representado por extensas playas de arena que se alternan con acantilados rocosos.

Los suelos de los cerros de la Cordillera de la Costa están constituidos principalmente por el batolito granítico con intrusiones dispuestas espacialmente de forma discontinua. El batolito granítico ha constituido la roca de origen de la mayoría de los suelos que se encuentran en esta unidad. En otros casos, el sustrato ha sido descrito como arenisca cuarcífera o bien gravas graníticas. Los suelos han sido descritos como gravas angulares y subangulares a través de los perfiles de suelo. La clase textural del horizonte superficial es generalmente franco arcillosa, variando entre franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa. La topografía es de cerros, lo cual significa en pendientes de 8 a 15%, de 20 a 30% hasta más de 50%, cuyas excepciones corresponden a zonas en posición de abanicos aluviales y piedemontes, con pendientes entre 5 y 8%.

Los suelos en lomajes y terrazas costeras se encuentran en terrazas marinas, lomajes suaves próximos a sectores costeros y terrazas remanentes, tanto de origen marino como aluvial, que se han formado en los valles próximos a la costa. El sustrato más frecuente corresponde a arenas y areniscas graníticas, en algunos casos mezcladas con gravas de origen mixto. Solamente en la serie Catapilco se describió un sustrato del tipo arcillolita. La estructura del suelo más frecuente es la de bloques subangulares medios y gruesos, variando a maciza a mayor profundidad. Las clases texturales dominantes son gruesas en los horizontes superficiales, tales como franco arenosa y areno francosa. Las pendientes más frecuentes son de 2 a 5% y 8 a 15% en algunos sectores.

2.5.5. Series de suelo

Las series de suelo constituye la categoría jerárquica más detallada y homogénea en un sistema de clasificación de suelos. Cada serie de suelos representa un conjunto único de características físicas, químicas y mineralógicas. La utilidad de la definición de series de suelo radica en que transmiten información edafológica propia de una zona y sirven como punto de comparación con suelos similares. Los suelos que integran una serie de suelos tienen propiedades observables similares, horizontes similares en su disposición y características, son suelos homogéneos, es decir, desarrollados a partir de un material originario determinado y presentan propiedades que varían dentro de un intervalo estrecho definido (Porta et al., 2008).

Las series de suelo presentes en la zona de estudio corresponden a Catapilco, Loncura, Campiche, Chilicauquén, Lo Vásquez y Valle Alegre (CIREN, 1997). Para efectos del presente estudio y para su simplificación, se consideraron sólo las series de suelo Catapilco, Loncura y Lo Vásquez. Estas series fueron elegidas debido a que son las que tienen mayor representatividad (abarcen más superficie) de la zona de estudio y también, porque estas series se encuentran tanto dentro como fuera de las comunas de Quintero y Puchuncaví (no así en las series Campiche, Chilicauquén y Valle Alegre), siendo esta condición importante para la metodología empleada para el muestreo de las series agrológicas para el fondo geoquímico local.

2.5.5.1. Catapilco (CPC)

Esta serie ocupa una posición de terraza marina, y se encuentra ampliamente distribuida en la Comuna de Catapilco y en las terrazas marinas litorales. La serie Catapilco es miembro de la familia fina, mixta, térmica de los Udollic Albaqualfs (Alfisol). Los Alfisoles son suelos que tienen un horizonte argílico, kándico o nátrico y una saturación base del 35% o mayor.

En términos generales, se trata de un suelo de origen sedimentario, moderadamente profundo, de textura superficial franca y arcillosa en profundidad. Bajo el primer horizonte, presenta un horizonte de lavado de 5 a 10 cm de espesor. Descansa sobre un sustrato constituido de arcillolita de estructura maciza, que impide el desarrollo radicular en profundidad; ocasionalmente, este sustrato está constituido por gravas parcialmente meteorizadas, con matriz arcillosa y muy compactada.

Se trata de suelos de topografía plana y permeabilidad moderadamente rápida en los dos primeros horizontes, pero muy lenta en el horizonte B e impedida por el sustrato, lo que determina un drenaje imperfecto (CIREN, 1997).

2.5.5.2. Loncura (LNR)

Esta serie se encuentra ampliamente distribuida en la zona litoral, entre Quintero y Cachagua. Ocupa una posición de lomajes ondulados con diversos grados de pendiente. La serie Loncura es miembro de la Familia arenosa, mixta, térmica de los Typic Xeropsamments (Entisol). Los Entisoles son suelos que tienen escasa o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogénicos.

En términos generales, se trata de suelos formados a partir de arenas eólicas antiguas o paleodunas estabilizadas, de textura superficial areno francosa. Esta serie descansa sobre arenas graníticas, cuyos suelos presentan permeabilidad rápida, drenaje excesivo, y un desarrollo muy incipiente del perfil (CIREN, 1997).

2.5.5.3. Lo Vásquez (LVZ)

Esta serie se encuentra en los cerros de la Cordillera de la Costa, en la zona central, donde los rangos de pendiente se encuentran entre 20 y 50%. La serie Lo Vásquez es miembro de la Familia franca fina, mixta, térmica de los Ultic Haploxeralfs (Alfisol).

En términos generales, los suelos de esta serie derivan de rocas graníticas, moderadamente profundos. Presentan texturas franco arcillo arenosa en superficie, y arcillosa en profundidad, con contenidos de casquijos de cuarzo que se incrementa junto con la proximidad a la roca descompuesta, donde la textura es arcillo arenosa. Los materiales se encuentran bien estructurados en los primeros 40 o 50 cm, sin estructura en profundidad. En cuanto al sustrato, este está constituido por rocas graníticas descompuestas (CIREN, 1997).

La disposición de las series agrológicas de la zona de estudio puede observarse en la Figura 2.7.

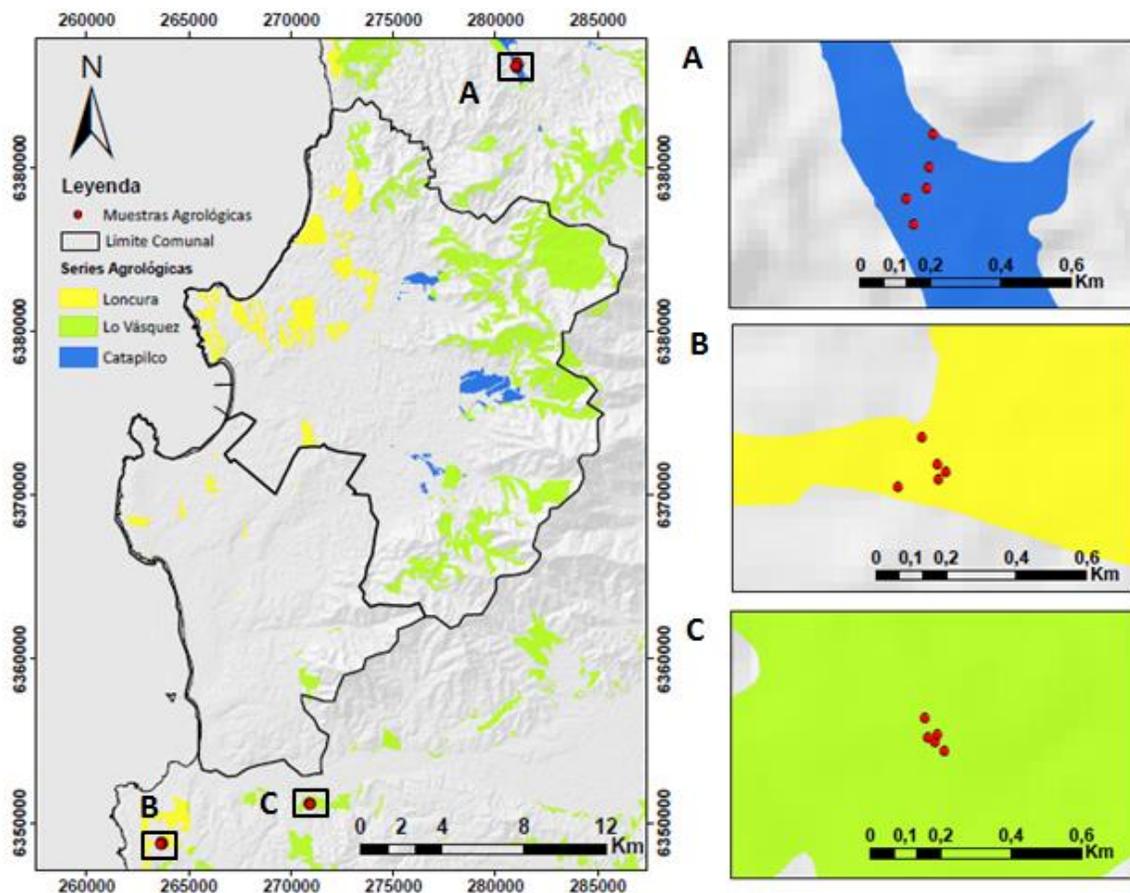


Figura 2.7: Mapa de ubicación de las series agrológicas en la zona de estudio. Elaboración propia a partir de CIREN, 1997.

3. METODOLOGÍA

3.1. Antecedentes previos

La presente memoria de título tiene como antecedente el estudio realizado por la consultora PGS Chile denominado “*Muestreo de suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví*” adjudicado por el Ministerio de Medio Ambiente, con el objetivo de generar información respecto al análisis de suelos de la zona y que se pudiera utilizar como insumo para la evaluación de riesgo ambiental en el sector.

El estudio antes mencionado provee la base de datos de las muestras obtenidas en la zona de Quintero y Puchuncaví a ser analizadas en esta memoria. El trabajo previo realizado por la consultora y utilizado en esta investigación corresponde a la metodología y plan de muestreo, el transporte de las muestras, la digestión ácida y el análisis de laboratorio de ICP-MS.

3.2. Muestreo

A continuación se presenta el procedimiento de muestreo realizado por la consultora PGS Chile en la zona de estudio. Con el objetivo de garantizar el control y aseguramiento de calidad en el muestreo, se acogieron a los lineamientos propuestos en la “*Guía de muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes*” elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente (2013).

3.1.1. Implementos utilizados en el muestreo

- **Palas:** se utilizaron palas de plástico con el objetivo de evitar contaminación por metales.
- **Bolsas plásticas:** las muestras fueron recolectadas en 2 bolsas resistentes. Una interna de polietileno con cierre hermético para evitar contaminación durante el traslado al laboratorio y otra externa de mayor resistencia para asegurar el correcto transporte de las muestras.
- **Cajas plásticas:** las bolsas de muestras fueron agrupadas en lotes y almacenadas en cajas de plástico resistente para su transporte.
- **Etiquetas:** cada muestra fue rotulada con 2 etiquetas con un código único, consistente en dos letras y un número. La primera letra corresponde a la letra inicial del nombre del encargado, la segunda corresponde a la primera letra de la localidad o zona donde se tomó la muestra y el valor numérico corresponde al número de muestra en el lugar tomado.

3.1.2. Toma de muestras

Las muestras fueron recolectadas en torno a puntos definidos según el plan de muestreo. Se realizó un muestreo compuesto, es decir, en cada punto se recolectaron 5 submuestras (o incrementos), una central y las 4 restantes a una distancia de 1 metro equidistante del punto central, formando una X donde el centro corresponde a la muestra central (Figura 3.1). Con el conjunto de submuestras cuarteadas se generó una muestra compuesta de al menos 500 g.

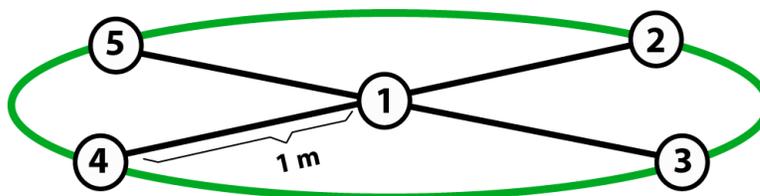


Figura 3.1: Esquema de la recolección de muestras en cada punto.

Los suelos muestreados corresponden a sedimentos preferentemente inactivos, es decir, no se muestreó por ejemplo en lechos de ríos y dunas no estabilizadas, ya que corresponderían a sedimentos activos (son removidos constantemente por el cauce del río o el viento).

Las palas fueron lavadas con agua destilada posterior a cada toma de muestra, para evitar contaminación entre una muestra y otra. Posterior a la recolección de las muestras, fueron almacenadas en las bolsas y cajas plásticas, para luego ser transportadas al laboratorio.

3.1.3. Plan de muestreo

El plan de muestreo considera una distribución espacial de los puntos sobre una grilla regular, es decir, corresponde a un muestreo del tipo sistemático. La ventaja de este método es que asegura la representatividad de las muestras en la zona de estudio, que queda cubierta en toda la superficie. La toma de muestras se realizó a diferentes escalas de trabajo. Se considera un muestreo a escala no urbana y urbana (de acuerdo al uso de suelo rural y urbano, respectivamente) donde las muestras obtenidas son para el análisis de determinación de origen antrópico. Los muestreos de las series agrológicas y las formaciones geológicas fueron elegidos de manera aleatoria según sus características y estas muestras son consideradas para la elaboración del valor del fondo geoquímico natural. La totalidad de las muestras se detallan a continuación:

Tabla 3.1: Resumen de muestras tomadas en la zona de estudio.

Muestras	Cantidad
No urbanas	203
Urbanas	263
Agrológicas	45
Geológicas	16
Total	527

3.1.3.1. Escala no urbana

El muestreo no urbano se efectuó a una escala de 1:150.000, con un espaciamiento aproximado de 1.150 m entre muestras. El muestreo abarca a los suelos que se encuentran fuera del área urbana, en las comunas de Quintero y Puchuncaví (puntos amarillos en Figura 3.2). Las muestras fueron tomadas dentro de un rango de 0-15 cm de profundidad.

Se separaron a ambas comunas en zonas, en función de su ubicación respecto al CIV, el tipo de suelo y dificultad de acceso. La zonificación de las comunas y ubicación de las muestras se puede ver en la Figura 6. Las dunas corresponden a sedimento activo, por lo que no fueron muestreadas en su totalidad, más bien en el límite (parte suroeste de la comuna de Quintero). Los cerros presentan menor cantidad de puntos de muestreo, debido a la lejanía del CIV y la dificultad de acceso.

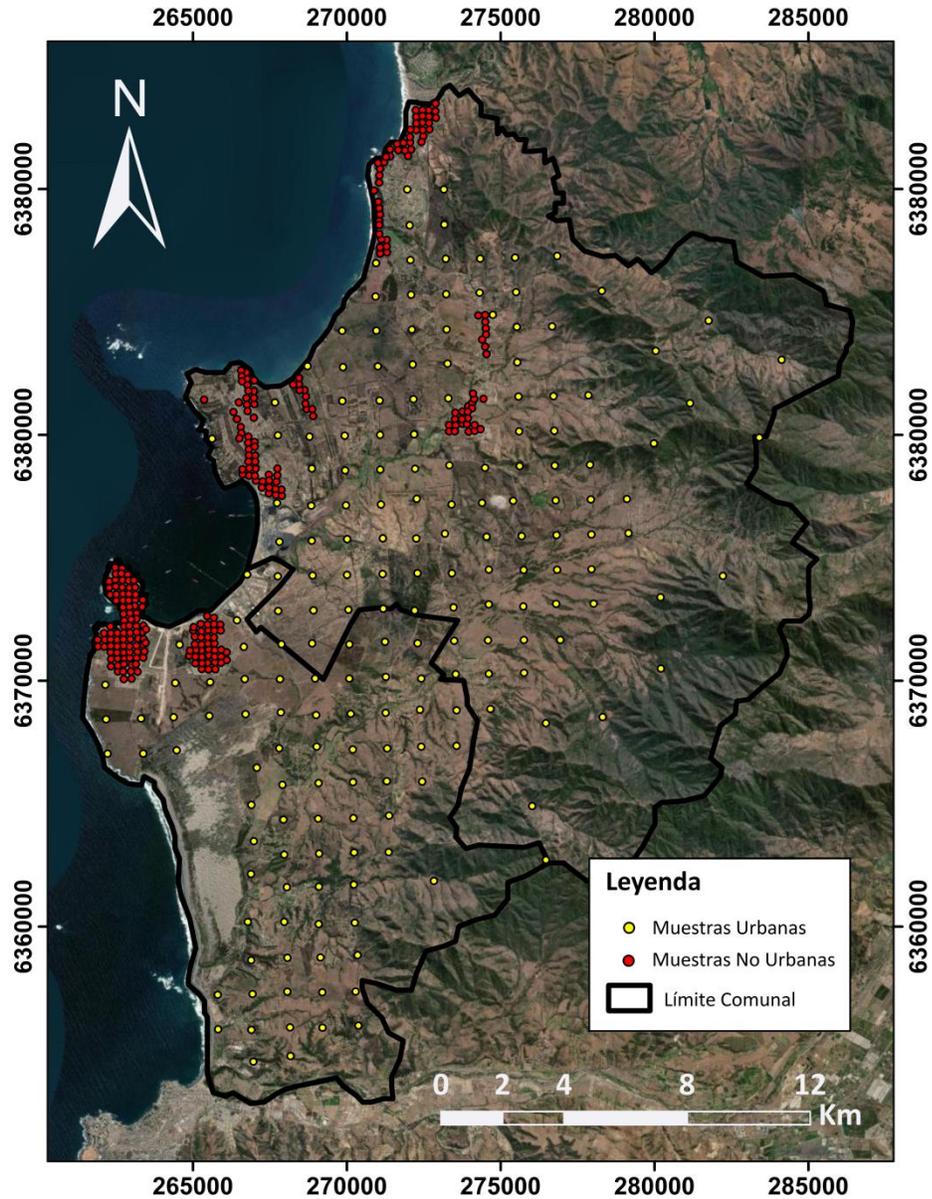


Figura 3.2: Distribución de puntos muestreados a escala no urbana. Elaboración propia a partir de imagen satelital de Basemap ArcGIS 10.4.

3.1.3.2. Escala urbana

El muestreo urbano se realizó a una escala de 1:25.000, con un espaciamento de 250 m entre muestras. La escala urbana abarca a suelos de uso urbano y se ejecutó en las localidades de Maitencillo, Puchuncaví-Rungue, Quintero-Loncura, y Horcón-Ventanas (Figura 3.3). Las muestras fueron tomadas dentro de un rango de 0-15 cm de profundidad.

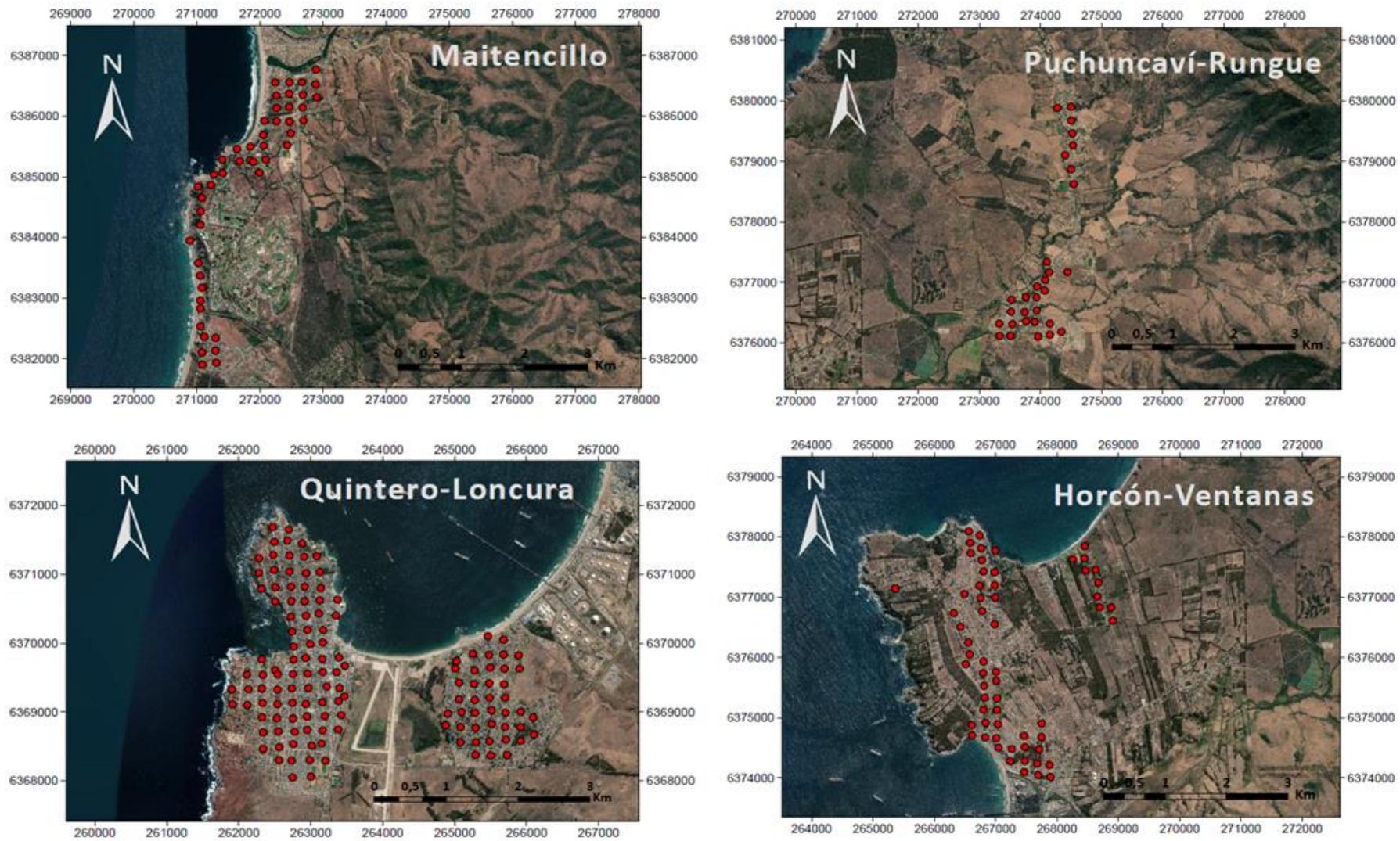


Figura 3.3: Ubicación de muestras a escala urbana. Elaboración propia a partir de imagen satelital de Basemap ArcGIS 10.4.

3.1.3.3. Muestreo en series agrológicas

Se consideraron 3 series agrológicas representativas del área de estudio. Estas fueron la serie Catapilco, Loncura y Lo Vásquez. Dentro de las series escogidas, se tomaron 5 puntos de muestreo. En cada punto se muestreó en 3 profundidades; entre 0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm. En este muestreo, a excepción de las otras escalas, se consideraron muestras en profundidad ya que el suelo más profundo se encuentra menos afecto a la dispersión de material particulado, por tanto se encuentra menos vulnerable al ambiente. Precisamente estas muestras son las que se usarán posteriormente para el cálculo del valor del fondo geoquímico, por tanto, es necesario que la composición del suelo refleje procesos naturales.

Los puntos de muestreo fueron realizados en zonas fuera del área de estudio, pero en sitios de la misma serie agrológica que se encuentran dentro del área de estudio (Figura 2.7; A, B y C).

3.1.3.4. Muestreo en roca

Se tomaron 16 muestras geológicas en afloramientos rocosos de la zona (Figura 2.6). Las formaciones geológicas muestreadas corresponden a Formación Horcón, Formación Ajial e intrusivos del Jurásico correspondientes a la Superunidad Mincha, correspondientes a rocas sedimentarias, volcanosedimentarias e intrusivas, respectivamente.

Las rocas pertenecientes a las formaciones y unidades que se encuentran dentro del área de estudio corresponden al material parental que da origen a los suelos de la zona. La composición y concentración de elementos que tienen las rocas son de origen natural. El suelo se forma, en primera instancia, a partir de las rocas que son meteorizadas y degradadas. Por tanto, se asume que las concentraciones de un suelo no perturbado tendrán concentraciones similares, no obviando el hecho de que existen otros procesos edafológicos que cambian la composición del suelo.

3.3. Análisis de laboratorio

Los análisis de laboratorio fueron realizados por ActLabs, en la ciudad de Coquimbo. Este laboratorio cuenta con las certificaciones y acreditaciones de normas de calidad a través de la Organización Internacional de Normalización (ISO 9001:2008).

Las muestras fueron tamizadas en malla N°80, equivalente a una fracción de 180µm.

3.3.1. Digestión ácida

El método de digestión ácida realizada por el laboratorio proporciona una extracción parcial, rápida y económica de los analitos. El procedimiento consiste en los siguientes pasos:

- **Pesaje de la muestra**
 - Se realiza el pesaje de $0,5 \text{ g} \pm 0,005 \text{ g}$ de muestra en una balanza analítica y se transfiere a un tubo de vidrio, para posteriormente ser digerida en agua regia.

- **Digestión de las muestras**
 - Se adiciona aproximadamente 1 mL de agua clase 1 (ultra pura) para humedecer la muestra.
 - Se agrega 0,6 mL de HNO_3 al 65% monitoreando la reacción. Si la muestra reacciona produciendo espuma vigorosa hacia la parte superior del tubo, se adiciona de forma cuidadosa un chorro de agua clase 1 y se agita en agitador Vortex. Se repite el proceso hasta que se controle la formación de espuma. Si no se logra controlar, se coloca el tubo en un vaso con agua clase 1 fría.
 - Una vez que haya disminuido la reacción, se esperan 10 minutos antes de colocar las muestras en el Hot Box.
 - Una vez que el controlador de temperatura del Hot Box registra 90°C , se posicionan las muestras y se dejan durante 10 minutos.
 - Se retiran las muestras del Hot Box y se añade 1,8 mL de HCl al 37% y se monitorea la reacción.
 - Cuando se completa la reacción se ponen las muestras nuevamente en el Hot Box por aproximadamente 2 horas.
 - Terminado el proceso de digestión, se dejan enfriar las muestras ($<40^\circ\text{C}$) y se retiran del Hotbox.

- **Dilución de las muestras**
 - Las muestras se diluyen en agua clase 1 hasta el aforo del tubo de vidrio y se agitan en el agitador Vortex durante 20 segundos para homogenizar la dilución.

13.3.2. ICP-MS

El método de análisis para determinar la concentración de las muestras es el ICP-MS, técnica de análisis elemental capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos del sistema periódico. Su principal ventaja es que posee límites de detección bajos que llegan a niveles de ppb y ppt, ideal para el análisis de elementos traza.

Las muestras fueron analizadas en el equipo Perkin Elmer Sciex ELAN 9000 ICP/MS para el paquete UT1 (59 elementos): Li, Be, Na, Mg, Al, K, Bi, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Au, Pb, U y Hg. Los límites de detección se pueden ver en la sección 3.4.1.1.

13.3.3. Difracción de Rayos X (DRX)

Para el análisis de difracción de rayos X fueron escogidas 30 muestras. Los criterios de elección de las muestras fueron cercanía al CIV, muestras con alta concentración en elementos de interés potencialmente contaminantes y que tuvieran representatividad de todas las zonas urbanas y no urbanas del área de estudio. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Pirometalurgia del departamento de Ingeniería en Minas de la Universidad de Chile. Se utilizó un difractómetro *Rigaku MiniFlex600* el que entrega un análisis cualitativo y/o cuantitativo de materiales policristalinos. A partir de los difractogramas obtenidos, la especialista del laboratorio realizó la identificación de fases minerales presentes por medio del software *PDXL v.2* perteneciente al equipo de difracción Rigaku y también, con el software *XPowderX*.

3.4. Procesamiento de datos

3.4.1. Control de calidad y validación de datos

3.4.1.1. Límite de detección

La base de datos de concentración de los 59 elementos analizados mediante ICP-MS contiene datos que se encuentran por debajo del límite de detección (en adelante LDD). Se tomó como criterio que en el caso de que se obtuvieran elementos donde más del 20% de los datos se encuentran por debajo del LDD, se eliminan de la base de datos debido a que difícilmente entregarán información útil y representativa (Hites, 2019). En la Tabla 3.2 se pueden observar los elementos que se encuentran por debajo del LDD con la cantidad de muestras y porcentaje que cumplen tal condición. Por tanto, los elementos que fueron eliminados de la base de datos fueron: B, Nb, Te, Hf, Ta, W, Re, Au y Tl (marcados en rojo oscuro en Tabla 3.2).

En los elementos donde se tienen muestras con menos del 20% de datos bajo LDD, se decidió reemplazar esos valores por el LDD/2. Por ejemplo, en el caso del Sb el LDD es 0,02 ppm, por tanto, las 74 muestras bajo el LDD fueron reemplazadas por el valor de 0,01 ppm.

Tabla 3.2: Elementos bajo el LDD con cantidad de muestras y % respectivo. En color rojo se indica los elementos que presentan más del 20% de las muestras bajo el LDD.

Elemento	Criterio	Unidad	Cantidad de muestras	%
B	< 1	ppm	217	37,3
Mg	< 0,01	%	1	0,2
Bi	< 0,02	ppm	1	0,2
Ge	< 0,1	ppm	12	2,1
Se	< 0,1	ppm	85	14,6
Nb	< 0,1	ppm	356	61,2
Ag	< 0,002	ppm	7	1,2
In	< 0,02	ppm	9	1,5
Sb	< 0,02	ppm	74	12,7
Te	< 0,02	ppm	339	58,2
Tm	< 0,1	ppm	1	0,2
Lu	< 0,1	ppm	77	13,2
Hf	< 0,1	ppm	519	89,2
Ta	< 0,05	ppm	560	96,2
W	< 0,1	ppm	532	91,4
Re	< 0,001	ppm	354	60,8
Au	< 5	ppb	322	55,3
Tl	< 0,02	ppm	220	37,8
Hg	< 10	ppb	76	13,1

3.4.1.2. Análisis de calidad de datos

El análisis de calidad de datos fue realizado a 24 elementos del total de 59 que fueron analizados por ICP-MS (ver Anexo A). No se consideran los demás elementos, ya que no entregan información relevante respecto a posibles asociaciones elementales, mineralógicas o ser trazadores de fuentes de contaminación. Además, se busca reducir la cantidad de variables a analizar. Los elementos analizados fueron 6 elementos mayores (Al, Ca, K, Mg, Na y Fe) y 18 elementos traza (Bi, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Zr, Mo, Cd, Sn, Sb, Pb y Hg).

Se tomaron 34 duplicados a las muestras de suelo, que corresponde a un 6,5% del total de las muestras del estudio. Además, se realizaron triplicados de los materiales certificados para las mediciones.

La estrategia empleada por el laboratorio fue analizar la concentración por bloque de muestras. En la primera tanda se analizaron 227 muestras, en la segunda 244 y en las siguientes 45 y 11 muestras. En todos los bloques de muestras se analizaron 4 muestras de materiales certificados. El detalle de la cantidad de blancos y duplicados por tanda se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Cantidad de muestras por bloque de análisis de concentración con respectiva cantidad de blancos, duplicados y material certificado.

	Total muestras	Blancos	%	Duplicados	%	Material certificado	%
Bloque 1	227	7	3,1	14	6,2	4	1,8
Bloque 2	244	8	3,3	15	6,1	4	1,6
Bloque 3	45	3	6,7	4	8,9	4	8,9
Bloque 4	11	1	9,1	1	9,1	4	36,4

Respecto a la precisión del método empleado para la medición de concentración, éste se evaluó mediante la desviación estándar relativa (% RSD) la que se calcula de la siguiente forma:

$$\% RSD = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100$$

Donde σ : desviación estándar y μ : es la media aritmética. La precisión se entiende como el grado de concordancia de los resultados respecto al promedio, cuando se ha aplicado el mismo proceso analítico a la misma muestra (repetitividad).

Por un lado, en el caso de los materiales certificados se obtuvieron valores de RSD menores a 22,5% en la mayoría de los elementos, a excepción del Cr con un valor de 48,4% en una muestra; el Sn con valores de 22, 5% y 91,5% en dos muestras y el Sb con un valor de 43,9% en una muestra. Por otro lado, para las muestras duplicadas, los RSDs fueron menores a 20,2% para todos los elementos en estudio. Sin embargo, en el caso del Cd, Se, Pb, Sn y Hg, hubo muestras con RSDs superiores. En el Cd hubo una muestra con valor de 28,2%, en el Se hubo 5 muestras en un rango entre 28,2 -60,6%, en el Pb 2 muestras en un rango entre 32,4-72%, en el Sn hubo 9 muestras en un rango entre 23,6-124% y en el Hg 12 muestras en un rango entre 23,6-70,7%.

La exactitud del método, que es el grado de concordancia entre el resultado obtenido en una medición con el valor real, se calculó de la siguiente forma:

$$Exactitud (\%) = \frac{Valor\ medido}{Valor\ real} \cdot 100$$

Cuando este valor es próximo a 100, se refleja una alta exactitud, ya que significa que el valor medido y el real son muy cercanos. Se compararon las concentraciones de los elementos obtenidas al realizar el proceso de digestión a los materiales certificados por triplicado, respecto a la concentración esperada de ese material certificado.

Al comparar las variaciones entre las mediciones y los valores reales, los resultados fueron satisfactorios para todos los elementos, obteniendo sobre un 70% de exactitud para la mayoría de

las muestras certificadas en los elementos analizados. Sin embargo, hubo excepciones en el Na y K que mostraron valores entre 18,9-69,2% para algunos de los materiales certificados, en el Sb que mostró valores entre 8,1-68,1% y para el Al y Zr que mostraron valores entre 5,8-56,5%.

Debido a la recurrencia en los errores obtenidos en el Sn y Hg respecto a la precisión en los duplicados, se decide sacarlos de la base de datos. Respecto a la exactitud del método según los materiales certificados, se decide sacar al Sb, Al y Zr. El Na y K a pesar de no entregar valores del todo satisfactorios, se consideran elementos importantes en la evaluación del suelo natural y se cuidan las interpretaciones que se realizan en estos elementos.

3.4.1.3. Validación de base de datos

Los elementos validados y considerados para el análisis de este estudio son 19 y son agrupados en elementos mayores y elementos traza.

Los grupos se componen de la siguiente forma:

- Elementos mayores (5): Ca, K, Mg, Na y Fe.
- Elementos traza (14): As, Bi, Cd, Cu, Mo, Pb, Zn, V, Mn, Cr, Co, Ni, Se y Sc.

3.4.2. Cálculo de valores del fondo geoquímico natural

Se entiende por fondo geoquímico (*background*) como la abundancia normal de un elemento en material terrestre estéril (Webb & Hawkes, 1962). El concepto fue introducido para diferenciar entre concentraciones elementales normales y anomalías. El fondo geoquímico se ha subclasificado, donde el fondo geoquímico natural se usa para inferir niveles que reflejan procesos naturales no influenciados por las actividades humanas. Estos procesos se derivan de la erosión del material de origen parental y la redistribución en el perfil del suelo por procesos formadores del suelo. Definir el fondo geoquímico en una zona donde históricamente hay un registro de contaminación representa una problemática, sin embargo, se toman ciertos resguardos que se explicaran posteriormente.

Existen múltiples investigaciones (Reimann et al., 2005; Reimann & Caritat, 2017; Rothwell & Coke, 2015) sobre el cálculo del valor del fondo geoquímico en suelos de una zona determinada, en el que se compara qué método es el más adecuado. En estos estudios las zonas son amplias y extensas, considerando la totalidad de las muestras obtenidas para el cálculo, definiendo valores outliers y el porcentaje respectivo. Debido a que esta área de estudio presenta un historial de contaminación previo, considerar todas las muestras (las cuales tienen valores de concentración altos para algunos elementos) significa un riesgo, ya que las muestras están influenciadas por una contaminación ya existente. Es por esta razón que este estudio se basa en la “*Guía de Muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes*” elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente, para

determinar un área “*background*” y se consideran muestras específicas para el cálculo del valor. Sin embargo, se comparan diversos métodos utilizados en las investigaciones previas para el cálculo del valor del fondo geoquímico. Por tanto, se tiene el resguardo de elegir un área *background* y análogamente se elige el método más adecuado según nuestra zona.

Según la USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) la determinación de niveles de fondo en zonas potencialmente contaminadas consiste en el estudio de sitios que presenten las mismas características geoquímicas a las de la zona de interés y que no presenten alteración antrópica. Por tanto, es necesario reconocer las características geológicas y agrológicas de la zona.

Las muestras que se tomaron para el cálculo, fueron de carácter geológico (muestreo en roca) y agrológicas (muestreo en suelo estratificado). Las muestras geológicas se encuentran dispersas en la totalidad del área de estudio (pertenecientes a las formaciones geológicas de la zona) y representan el material parental a partir del que se origina el suelo. Las muestras agrológicas se encuentran fuera del área de estudio, y se asume que se encuentran sin influencia antrópica significativa, debido a que las 3 series agrológicas se encuentran lejanas al CIV (más de 18 km de distancia). Además, la predominancia de los vientos no se encuentran en dirección hacia el lugar de las muestras (series Loncura y Lo Vásquez ubicadas al Sur del CIV) y por barreras topográficas que controlarían la dispersión de material (serie Catapilco).

Las muestras agrológicas consideradas para el valor del fondo geoquímico presentan las mismas características pedológicas de las muestras que fueron tomadas para determinar niveles de contaminación (muestreo a escala urbana y no urbana). En efecto, se está considerando el mismo suelo de las muestras dentro del área de estudio, ya que son las mismas series agrológicas.

Se tomaron un total de 61 muestras, de las cuales 16 son geológicas (Figura 4) y 45 son agrológicas (Figura 5). Las muestras geológicas son intrusivas (6 muestras), volcanosedimentarias (6 muestras) y sedimentarias (4 muestras). Las muestras agrológicas pertenecen a la serie Catapilco (15 muestras), Lo Vásquez (15 muestras) y Loncura (15 muestras). Éstas fueron tomadas a 3 profundidades distintas (0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm) en 5 puntos de muestreo por serie.

Respecto a los métodos utilizados para el cálculo del valor del fondo geoquímico, actualmente, no existe un método universal ni consensuado para determinar valores umbrales para la identificación de concentraciones altas de elementos en muestras de suelo (Desaules, 2012; Redon et al., 2013) y los métodos existentes varían considerablemente entre sí. En este estudio de abordarán 5 métodos de manera comparativa, con el objetivo de tomar el valor del fondo geoquímico del método más representativo y sólido.

- 1. Promedio al 95% de confianza:** según la guía elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente, recomiendan estimar el nivel del fondo geoquímico de un elemento como el límite superior del intervalo de confianza al 95% de la concentración media de los sitios

no contaminados. Este método se basa en la recomendación de la USEPA. Los valores se obtuvieron con el software PROUCL, el que determina el valor según la distribución de los datos.

La ventaja de este método es que asegura que las diferencias debidas a la variabilidad natural del suelo estén incorporadas dentro de la estimación del valor del fondo geoquímico (MMA, 2013). Sin embargo, por lo general este método entrega valores muy bajos. Además, no es un método que sea usado en la literatura científica en cálculos de valores de fondo geoquímico.

- 2. Método MAD:** este método se plantea como una mejora al método de la mediana + 2SD (Standard Deviation) (Reimann et al., 2005) y se calcula como la mediana \pm 2 MAD (Median Absolute Desviation). Para el cálculo del fondo geoquímico se toma el límite superior.

$$\text{Método MAD} = \text{Me} \pm 2(\text{Me} (|x - \text{Me}|))$$

La ventaja de este método es que es robusto, es decir, no es sensible a valores extremos. Si bien es considerado en algunos estudios (Tume et al., 2019; Rothwell & Coke, 2015) como el método más adecuado, estos autores sacan de la base de datos los valores extremos (*outliers*) para el cálculo del valor del fondo geoquímico. En estos estudios no se escogió un área *background*, es decir, las muestras fueron tomadas en un área extensa donde pueden encontrarse muestras contaminadas. Para nuestro estudio no es necesario quitar los valores extremos, debido a que las muestras seleccionadas para el cálculo del fondo geoquímico corresponden a muestras naturales y sin influencia antrópica.

- 3. Tukey Inner Fence (TIF):** también conocido como “Upper whisker method” (Tukey, 1977) consiste en utilizar el límite superior del bigote de un diagrama de caja (*boxplot*). Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{TIF} = \text{Q3} + 1.5 * \text{IQR}$$

Donde Q3 corresponde al tercer cuartil (equivalente al percentil 75) y IQR corresponde al rango intercuartil (tercer cuartil menos el primer cuartil). El múltiplo de 1,5 se basa en el supuesto de la distribución simétrica de los datos.

Este método se basa solamente en la distribución de los datos y permite definir un valor umbral para valores extremos aún si no hay ninguno presente en la base de datos (es decir, $\text{Max} < \text{TIF}$). Por tanto, este método se inclina hacia valores más altos.

- 4. Diagramas CP:** los diagramas de distribución de probabilidad acumulada se utilizan para identificar el quiebre de la pendiente para detectar muestras que se desvían de la variación normal del fondo geoquímico (Ander et al., 2013). Este es el método más riguroso para el cálculo del fondo geoquímico pero requiere de un “ojo experto”, involucrando con ello cierta subjetividad.

Para que este método sea eficiente, es necesario tener una cantidad considerable de datos para que los diagramas de probabilidad acumulada tengan una línea claramente contorneada, es decir, una alta densidad de datos (Reimann & Caritat, 2017). Por el contrario, si la base de datos posee pocos datos, el quiebre difícilmente será observable en algunos casos.

5. **Percentiles:** otros investigadores sugieren simplemente usar un enfoque basado en percentiles y propusieron el percentil 90, 95 o 98 de un conjunto de datos dado para definir el umbral (Ander et al., 2013). Para este estudio se evaluará el uso del percentil 95.

La desventaja de este método es que es un tanto arbitraria la elección de qué percentil es el más adecuado. Además por lo general, tienden a beneficiar a los valores más altos de la distribución de datos.

Los métodos estadísticos como el MAD y el TIF se basan en el supuesto que los datos presentan una distribución de probabilidad simétrica. En el caso de una base de datos log-normal (sesgada hacia la derecha), es necesario realizar una transformación logarítmica que resulta en una simetría de la distribución de los datos.

3.4.3. Análisis de Componentes Principales (Marín, 2017)

El análisis de componentes es una técnica estadística multivariante que a partir de una matriz de datos, en este caso, una serie de muestras (conjunto de objetos) a las que se les ha medido la concentración en distintos elementos (variables) se busca reducir el número de variables y agruparlos en factores que representen a éstas.

El objetivo es transformar el conjunto original de variables en otro conjunto de nuevas variables incorreladas entre sí (que no tenga repetición o redundancia en la información) llamado conjunto de componentes principales. Las nuevas variables son combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra.

Para el cálculo de las componentes principales se considera una serie de variables (x_1, x_2, \dots, x_p) sobre un grupo de objetos. A partir de ellas, se busca calcular un nuevo conjunto de variables y_1, y_2, \dots, y_p incorreladas entre sí, cuyas varianzas vayan decreciendo progresivamente. Cada y_j (donde $j=1, \dots, p$) es una combinación lineal de las x_1, x_2, \dots, x_p originales, es decir:

$$y_j = a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jp}x_p = \mathbf{a}'_j \mathbf{x}$$

Siendo $\mathbf{a}'_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$ un vector de constantes, y $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_p \end{bmatrix}$

El primer componente principal se calcula eligiendo \mathbf{a}_1 de modo que y_1 tenga la mayor varianza posible. El segundo componente principal se calcula obteniendo \mathbf{a}_2 de modo que la variable obtenida, y_2 esté incorrelada con y_1 .

En el caso del presente estudio, el objetivo es buscar agrupaciones elementales mediante los componentes principales generados y asociarlos a algún proceso que denote la huella geoquímica de estos elementos. Para realizar el análisis de componentes principales se utilizó el software estadístico de Excel *XLSTAT*.

3.4.4. Factor de Enriquecimiento (FE)

El factor de enriquecimiento es uno de los índices que se utiliza para evaluar el potencial de riesgo ecológico de un suelo determinado según su enriquecimiento para un determinado elemento. Este método se basa en la normalización de un elemento determinado frente a un elemento de referencia. El elemento de referencia se caracteriza por su baja variabilidad de ocurrencia y por ser un elemento conservativo poco influenciado por fuentes antropogénicas (Ballesta, 2017). Los elementos de referencia más comúnmente utilizados son Sc, Mn, Ti, Al y Fe (Loska et al., 2004). Este factor determina cuánto está de enriquecido el elemento en la zona respecto de su concentración natural.

El factor de enriquecimiento se calcula de la siguiente forma:

$$FE = \frac{\left[\frac{C_n \text{ muestra}}{C_{ref} \text{ muestra}} \right]}{\left[\frac{C_n \text{ background}}{C_{ref} \text{ background}} \right]}$$

Donde $C_n \text{ muestra}$ es la concentración del elemento a evaluar en la muestra de suelo, $C_{ref} \text{ muestra}$ es la concentración del elemento de referencia escogido en la muestra, $C_n \text{ background}$ es la concentración *background* del elemento a evaluar y $C_{ref} \text{ background}$ es la concentración *background* del elemento de referencia.

En algunas investigaciones (Nolting et al., 1999; Salmanighabeshi et al., 2015) la concentración *background* es considerada como la concentración de la corteza terrestre superior según Wedepohl (1995). En este estudio fue analizado este caso, sin embargo, los enriquecimientos resultaban muy altos en gran cantidad de elementos, representando una realidad exagerada de enriquecimiento. Es por esta razón que se hace necesario el cálculo de un fondo geoquímico (*background*) propio de la zona, representativo de la composición geoquímica de los suelos en la zona. Esta diferencia se debe a que la corteza terrestre no es uniforme y pueden existir concentraciones endógenas superiores (o inferiores en algunos casos) a la media terrestre (Loska et al., 2004).

El elemento de referencia escogido en este estudio es el Sc, debido a su baja variabilidad en la base de datos y por cumplir la condición de ser un elemento conservativo.

Según la propuesta de Sutherland (2000) el factor de enriquecimiento se divide en 5 categorías:

- $FE < 2$ Empobrecido a mínimamente enriquecido
- $2 < FE < 5$ Moderadamente enriquecido
- $5 < FE < 20$ Significativamente enriquecido
- $20 < FE < 40$ Muy enriquecido
- $FE > 40$ Extremadamente enriquecido

Es importante destacar que el factor de enriquecimiento es un índice que indica enriquecimiento del suelo, y que se puede interpretar como contaminación según las fuentes o procesos que originen ese enriquecimiento. Sin embargo, un factor de enriquecimiento alto se puede deber a varias razones, de las cuales la contaminación es solo una de ellas (Reimann & Caritat, 2005). Por tanto, es necesario tener en consideración la escala de trabajo que se está utilizando y las interpretaciones que se realizan según el resultado que se obtenga.

3.4.5. Interpolación Espacial

Los mapas de factor de enriquecimiento se generaron por medio de una interpolación espacial, la que se realizó mediante el software ArcGIS versión 10.4. La interpolación predice valores para las celdas de un raster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos, logrando predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico.

El método de interpolación utilizado fue el kriging ordinario. Este es un método geoestadístico que ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos para determinar el valor de salida para cada ubicación. Esto lo hace por medio del uso de semi variogramas. Se asume que los datos más cercanos a un punto conocido tienen mayor peso o influencia sobre la interpolación, influencia que va disminuyendo conforme se aleja del punto de interés.

4. RESULTADOS

4.1. Estadística básica de la concentración de elementos en la zona de estudio y comparación con estándares internacionales de calidad de suelos

En la Tabla 4.1 se entrega información respecto a la estadística básica de las concentraciones de las muestras analizadas mediante ICP-MS de los 19 elementos seleccionados para el análisis junto a los valores máximos y mínimos de la concentración máxima aceptable (CMA) en suelos para algunos países. La concentración de la totalidad de las muestras se puede ver en el Anexo B y para observar histogramas con distribución de los datos y valores máximos y mínimos de CMA ver Anexo C. En el presente apartado se muestra el histograma del Cu y del Cd, por ser elementos que presentan realidades distintas en cuanto a la ubicación de los valores máximos y mínimos de CMA dentro del histograma, como también del valor background.

El Cu es elemento que presenta mayor cantidad de muestras con concentración alta en la zona de estudio, más del 75% de las muestras tienen una concentración superior a 100 ppm, que es valor máximo (según Tabla 2.4) de la concentración máxima aceptable (CMA) de metales traza en suelos agrícolas (línea azul en Figura 4.1). Si se considera el valor mínimo (30 ppm) casi el 100% de las muestras superarían este valor (línea negra en Figura 4.1). Por tanto, es el elemento que más impacto tiene en la zona en cuanto a su alta concentración. Con el V (Figura C.1) es similar, aproximadamente el 60% de las muestras supera el valor máximo propuesto por Polonia (150 ppm). Si se considera el valor mínimo (50 ppm), todas las muestras superarían la concentración máxima aceptable.

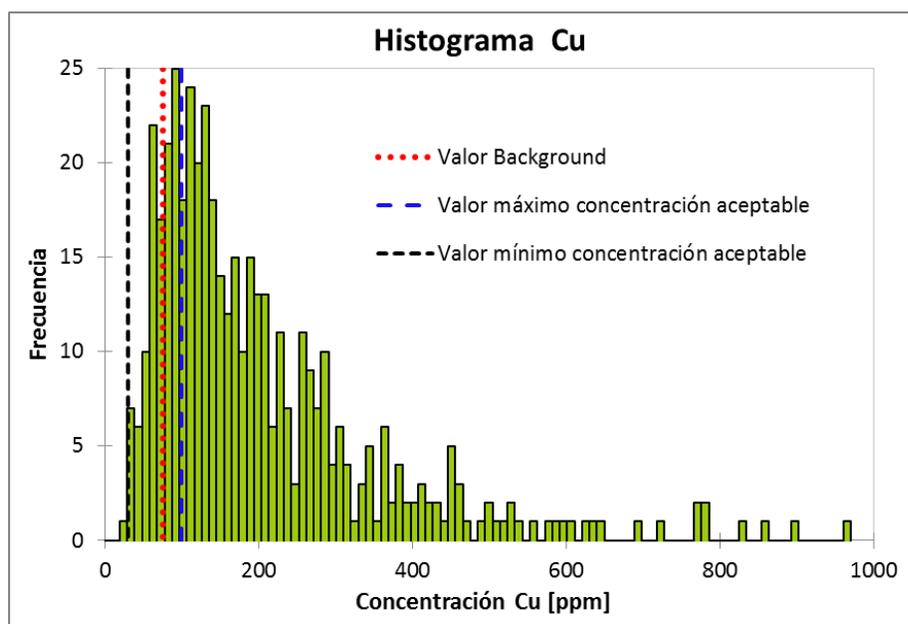


Figura 4.1: Histograma de Cu para muestras urbanas y no urbanas. Se omiten en el histograma 15 muestras mayores a 1000 ppm para mejor visualización de la distribución.

En cuanto al As (Figura C.2), si se considera el valor mínimo de CMA (10 ppm) 85% de las muestras superarían ese valor y si se considera el valor máximo (50 ppm) tan sólo el 7% lo haría. En el caso del Zn (Figura C.3) es similar, aproximadamente el 86% de las muestras superan el valor mínimo de CMA (100 ppm) y tan sólo el 3% supera el valor máximo (300 ppm).

Para el caso del Pb (Figura C.4), aproximadamente el 6% de las muestras sobrepasan el valor mínimo de CMA (70 ppm) y tan sólo el 0,4% (2 muestras) superan el valor máximo de 600 ppm propuesto por Australia. Para el Cd, solo el 7% de las muestras supera el valor mínimo (1 ppm) y sólo una muestra supera el valor máximo de (5 ppm) (línea color negro y azul respectivamente en Figura 4.2). Para el Mo (Figura C.5), tan sólo el 7,5% de las muestras supera el valor mínimo de 3 ppm y el valor máximo es superado por tan solo 1 muestra (40 ppm).

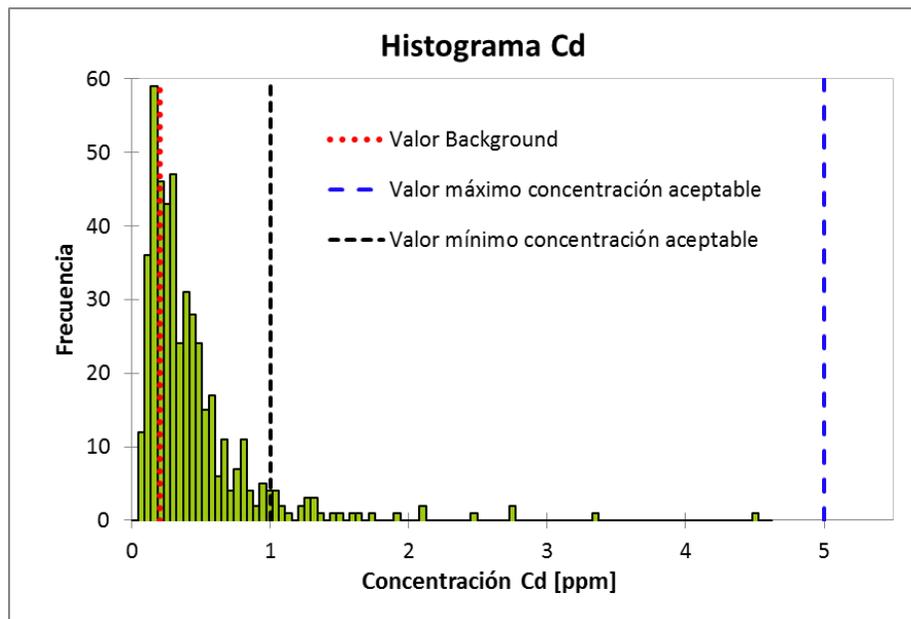


Figura 4.2: Histograma para Cd para muestras urbanas y no urbanas. Se omiten en el histograma 1 muestra mayor a 5 ppm para mejor visualización de la distribución.

Para los elementos de Ni, Cr y Co; ninguno alcanza los valores máximos de CMA. Para el Ni (Figura C.6), sólo el 0,6% de las muestras supera el valor mínimo (30 ppm) y para el Cr (Figura C.7) el 10% de las muestras sobrepasa el valor mínimo de 50 ppm. En tanto, en el Co (Figura C.8) 98% de las muestras superan el valor mínimo (9 ppm) propuesto por Australia.

En los elementos antes mencionados tales como Pb, Cd, Mo, Hg Ni, Cr y Co; se puede inferir que no existe una concentración alta considerable que inflencie la zona tomando como referencia la normativa estándar de calidad de suelos de los países considerados. Sin embargo, las concentraciones máximas aceptables de la normativa internacional no necesariamente reflejan la realidad de la zona de estudio. Además, como se pudo observar en cada elemento analizado, existe una amplia variabilidad del valor máximo y mínimo de la CMA entre los países considerados (Tabla 2.4).

Tabla 4.1: Estadísticas básicas de datos geoquímicos obtenidos para muestras urbanas y no urbanas para los 19 elementos seleccionados. En las últimas dos columnas se agregan los valores mínimos y máximos de las concentraciones máximas aceptables (CMA) de calidad de suelos para algunos países (según Tabla 2.4).

Elemento	N	LDD	% < LDD	Promedio	Mínimo	Q1 (P25)	Mediana (P50)	Q3 (P75)	Máximo	Des. Est.	Varianza	Mínimo CMA	Máximo CMA
Na [%]	466	0,001	0	0,04	0,01	0,03	0,04	0,05	0,22	0,02	0,001	-	-
Mg [%]	466	0,01	0,17	0,44	0,10	0,36	0,45	0,52	1,22	0,16	0,03	-	-
K [%]	466	0,01	0	0,21	0,06	0,16	0,19	0,25	0,71	0,10	0,01	-	-
Bi [ppm]	466	0,02	0,17	1,96	0,08	0,28	0,49	0,83	480	22,80	519,62	-	-
Ca [%]	466	0,01	0	0,76	0,19	0,55	0,74	0,91	2	0,31	0,09	-	-
Sc [ppm]	466	0,1	0	8,46	3,40	7,20	8,20	9,50	17,60	1,97	3,86	-	-
V [ppm]	466	1	0	175,11	57	137	162	198,75	547	60,08	3.609,79	50	150
Cr [ppm]	466	0,5	0	35,69	11,80	27,53	33	41,27	132	13,24	175,17	50	400
Mn [ppm]	466	1	0	948,56	353	733	867	1.047,50	3.390	377,87	142.782,73	-	-
Fe [%]	466	0,01	0	6,22	3,01	4,96	5,96	7,11	16,30	1,83	3,37	-	-
Co [ppm]	466	0,1	0	14,34	7,90	12	13,70	15,80	34,40	3,44	11,84	9	50
Ni [ppm]	466	0,1	0	13,03	5,50	11,03	12,80	14,60	37,30	3,60	12,96	30	100
Cu [ppm]	466	0,1	0	261,96	24,70	101	162,50	268,75	9.620	522,96	273.490,04	30	100
Zn [ppm]	466	0,1	0	155,23	38,60	114,50	143	169,75	833	77,48	6.003,57	100	300
As [ppm]	466	0,1	0	24,13	4,10	11,50	15,70	23,87	825	44,01	1.937,26	12	50
Se [ppm]	466	0,1	14,60	0,74	0,05	0,20	0,50	0,80	73,80	3,47	12,01	-	-
Mo [ppm]	466	0,01	0	1,79	0,13	0,94	1,27	1,79	70,80	3,55	12,57	3	40
Cd [ppm]	466	0,01	0	0,48	0,05	0,19	0,31	0,50	19,20	0,97	0,94	1	5
Pb [ppm]	466	0,01	0	43,89	8,20	22,60	29	40,08	3.390	162,08	26.270,10	70	600

Por tanto, a pesar del valor inherente de este análisis comparativo con normativas internacionales, este análisis tan solo puede considerarse una aproximación muy superficial a la problemática local que se está investigando. Esto debido a que las normas internacionales utilizadas en esta comparativa, fueron desarrolladas para ser representativas de las realidades edafológicas específicas de cada país, las cuales no tiene por qué tan siquiera acercarse a la realidad local que se pretende estudiar en la zona de Quintero y Puchuncaví. Es por ello, que se decide obtener un fondo geoquímico local para la zona de estudio, el cual se utilizará para calcular valores de enriquecimiento que puedan identificar de manera más fidedigna la posible presencia de zonas con contaminación metálica.

4.2. Cálculo de valores del fondo geoquímico a partir de muestras naturales (no contaminadas)

En la Tabla 4.2 se puede observar la naturaleza y estadística básica de los datos utilizados para el cálculo del valor del fondo geoquímico a partir de las 61 muestras consideradas como naturales (muestras agrológicas y geológicas).

Tabla 4.2: Resumen estadístico de los 19 elementos analizados para las 61 muestras consideradas para el cálculo del fondo geoquímico natural.

Elemento	Distribución	SD	Promedio	Mín	1° Cuartil	Mediana	3° Cuartil	Máx	MAD
Na [%]	Sin distribución	0,14	0,06	0,01	0,02	0,02	0,04	0,81	0,01
Mg [%]	Gamma	0,32	0,45	0,01	0,21	0,44	0,56	1,62	0,20
K [%]	Normal	0,07	0,14	0,04	0,08	0,13	0,17	0,40	0,04
Bi [ppm]	Sin distribución	0,15	0,20	0,02	0,12	0,19	0,23	0,78	0,06
Ca [%]	Lognormal	0,61	0,68	0,05	0,31	0,49	0,85	3,82	0,29
Sc [ppm]	Normal	3,44	9,08	1,70	6,90	9,30	11,50	20,10	2,30
V [ppm]	Sin distribución	43,20	90,89	17	69	88,50	105,50	249	18,50
Cr [ppm]	Lognormal	26,39	37,20	6,10	19,40	26,30	53,70	126	13,50
Mn [ppm]	Sin distribución	383,65	798,70	58	558	722	1170	1570	285
Fe [%]	Lognormal	3,53	5,39	0,73	3,03	3,72	7,20	13,40	1,31
Co [ppm]	Normal	5,57	13,34	0,60	10,30	13,70	18	21,30	3,60
Ni [ppm]	Normal	7,84	14,41	0,90	8,60	14,40	19,80	40,10	5,40
Cu [ppm]	Lognormal	39,80	58,84	8,00	36,10	48,10	71,70	236	14
Zn [ppm]	Sin distribución	65,90	87,97	6,70	35,40	56,60	160	242	25,70
As [ppm]	Sin distribución	5,58	8,05	1,50	3,10	6,40	13,10	20,50	3,70
Se [ppm]	Sin distribución	0,19	0,36	0,05	0,30	0,40	0,50	0,80	0,10
Mo [ppm]	Lognormal	0,57	1,21	0,36	0,85	1,08	1,39	3,64	0,28
Cd [ppm]	Lognormal	0,08	0,11	0,01	0,05	0,10	0,15	0,36	0,05
Pb [ppm]	Sin distribución	7,53	14,98	0,74	9,64	14,30	22,20	27,70	6,05

A continuación, se presentan los valores obtenidos en el cálculo de cada uno de los métodos analizados.

Tabla 4.3: Comparación de métodos estadísticos para valor del fondo geoquímico de 19 elementos analizados. Se presentan los métodos del promedio al 95% de confianza, método MAD, método TIF y percentil 95. Los valores marcados en rojo oscuro corresponden a valores generados por el método TIF que superan los valores máximos medidos en las 61 muestras.

Elemento	\bar{X} al 95%	MAD	TIF	P95
Na [%]	0,14	0,04	0,06	0,30
Mg [%]	0,53	0,84	1,09	0,97
K [%]	0,15	0,21	0,31	0,25
Bi [ppm]	0,28	0,31	0,40	0,46
Ca [%]	0,81	1,07	1,66	1,65
Sc [ppm]	9,81	13,90	18,40	13,50
V [ppm]	118,70	125,50	160,25	177
Cr [ppm]	45,71	53,30	105,15	81,70
Mn [ppm]	1013	1292	2088	1320
Fe [%]	6,53	6,34	13,46	12,20
Co [ppm]	14,53	20,90	29,55	20,50
Ni [ppm]	16,09	25,20	36,60	24,30
Cu [ppm]	70,73	76,10	125,10	121
Zn [ppm]	124,70	108	346,90	197
As [ppm]	11,16	13,8	28,10	18
Se [ppm]	0,47	0,6	0,8	0,60
Mo [ppm]	1,33	1,64	2,20	2,29
Cd [ppm]	0,14	0,20	0,30	0,30
Pb [ppm]	19,18	26,40	41,04	25,80

Es necesario tener en consideración que los métodos MAD y TIF utilizan como supuesto la simetría en la base de datos. Sin embargo, una base de datos geoquímica o ambiental regional raramente sigue una distribución normal o lognormal, por el contrario, las distribuciones generalmente son sesgadas hacia la derecha (*right-skewed*), presentan valores atípicos (*outliers*) y se originan a partir de más de un solo proceso (Reimann & Filzmoser, 2000). A pesar de que algunos de los elementos analizados efectivamente tienen una distribución normal o lognormal, también existe una cantidad no menor que no se ajusta a ningún tipo de distribución. Por tanto, se consideran válidos estos métodos, pero teniendo en cuenta que los resultados pueden estar sesgados o defectuosos. Tomando en cuenta lo anterior, se decide no realizar transformación logarítmica a los datos, debido a que en algunos casos dan valores considerablemente altos, que no tienen sentido con la base datos (valores mayores al máximo).

Tomando en cuenta que la base de datos del área *background* se compone de 61 muestras, éstas no permiten realizar diagramas de probabilidad acumulada donde se pueda ver el quiebre de manera clara, por lo que este método se descarta.

El promedio al 95% de confianza en general, es el método que entrega los valores más bajos en la mayoría de los elementos, mientras que el método TIF y el percentil 95 son los métodos que entregan los valores más altos. En concreto, el método TIF genera hasta en algunas ocasiones (V,

Mn, Fe, Co, Zn, As y Pb) valores que son irrealistamente altos, incluso más altos que los valores máximos medidos. El método MAD entrega valores intermedios en relación a los otros métodos.

Con el objetivo de poder visualizar de mejor manera las variaciones entre las distintas series agrológicas, sus profundidades y las muestras geológicas, se realizaron diagramas de caja (*boxplots*) para los 23 elementos analizados. A modo de resumen representativo de la mayoría de elementos estudiados, se presentan los resultados obtenidos para Fe y Cu. Para ver los diagramas de caja de los otros elementos ver Anexo D.

Por un lado, se tiene el caso del Fe (Figura 4.3) en el que existe una similar concentración en las series Catapilco y Lo Vásquez; y un salto significativo en la serie Loncura, mientras que en las muestras geológicas existe un aumento respecto a las primeras dos series mencionadas. Este patrón se repite de manera similar en elementos tales como el V, Zn, Co, Ca, Mg y Mn.

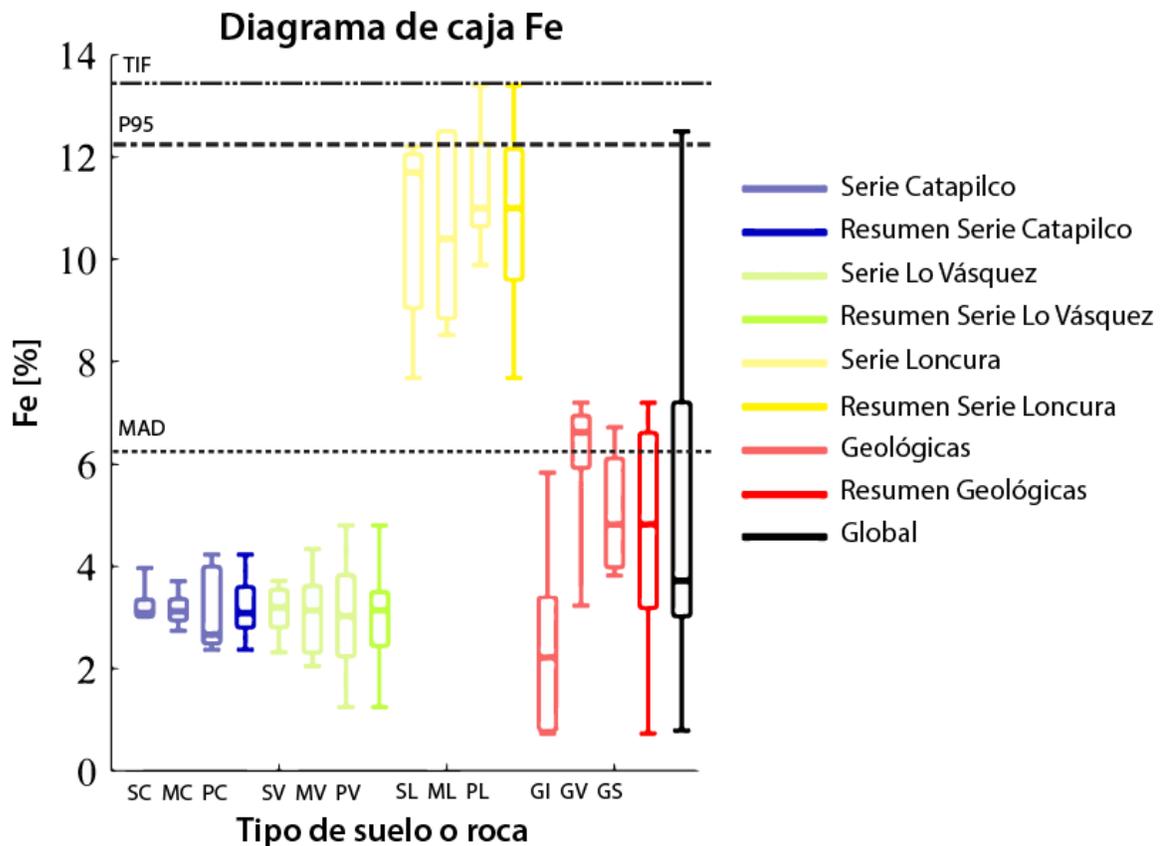


Figura 4.3: Diagrama de caja Fe para series agrológicas y muestras geológicas. SC: Superficial Catapilco, MP: Media Catapilco, PC: Profunda Catapilco, SV: Superficial Lo Vásquez, MV: Media Lo Vásquez, PV: Profunda Lo Vásquez, SL: Superficial Loncura, ML: Media Loncura, ML: Media Loncura, PL: Profunda Loncura, GI: Geológica Intrusivo, GV: Geológica Volcanosedimentaria, GS: Geológica Sedimentaria.

Se puede observar que posiblemente el Fe posee más de una población de datos; una, en las series Catapilco, Lo Vásquez y Geológicas y, otra, en la serie Loncura. A pesar de ello, y gracias a las múltiples precauciones tomadas durante el muestreo de las series agrológicas y geológicas para

asegurar que dichas muestras no han estado expuestas a procesos significativos de contaminación, todas las series agrológicas fueron consideradas dentro de una misma base de datos general de muestras naturales. Debido a esta peculiar distribución estadística, definir un valor de fondo geoquímico natural en base a los métodos TIF o P95, haría que la población de la serie Loncura quedara bien representada mientras que todas las otras poblaciones de datos quedarían subrepresentadas.

Para ejemplificar las implicancias de esta situación se presenta el siguiente ejercicio simplista: imaginar que se elige como fondo geoquímico para el Fe el valor TIF (13,46 wt%), y durante este estudio se toma una muestra de suelo que originalmente tuvo las concentraciones de Fe típica de la serie Catapilco (entre 2 y 4 wt%) pero que debido a procesos de contaminación antrópica ha elevado su concentración de Fe muy significativamente hasta 10 wt%. Dicha muestra quedaría clasificada como una muestra no enriquecida y su contaminación pasaría totalmente desapercibida. Para evitar este tipo de situaciones, se decidió optar por el método MAD para generar el valor del fondo geoquímico, ya que este método suele mostrar valores intermedios más representativos de las diversas poblaciones observadas.

En contra de la selección del método MAD frente al TIF o P95 se puede argumentar el ejemplo contrario: imaginar que se elige como fondo geoquímico para el Fe el valor MAD (6,34 wt%), y durante el presente estudio se toma una muestra de suelo que tiene las concentraciones de Fe típicas de la serie Loncura (entre 8 y 14 wt%). Dicha muestra, a pesar de ser completamente natural y no tener contaminación antrópica, quedaría clasificada como una muestra enriquecida y con cierto potencial de estar contaminada. Sin embargo, tras la inspección de la distribución de suelos dentro del área de estudio, se vio que la posibilidad de que ocurra este último caso es bastante remota. Además, es importante comentar que el “falso” enriquecimiento que se podría generar no superaría un valor de 2 y que por esta misma razón (como se explicará en detalle en la siguiente sección), no es hasta alcanzar valores superiores a 5 que el enriquecimiento no empieza a seguir vinculado con mayor intensidad a posible contaminación de los suelos.

Por otro lado, en el caso de Cu (Figura 4.4) se puede observar que existe una concentración similar en las series Catapilco y Loncura; y un aumento en la serie Lo Vásquez, mientras que en las series geológicas se tiene una concentración similar a las primeras dos series mencionadas, con algunos valores altos que superan incluso a la serie Loncura. Este comportamiento también es observado a grandes rasgos en los elementos Cd, Bi, Hg, Mo y Ni.

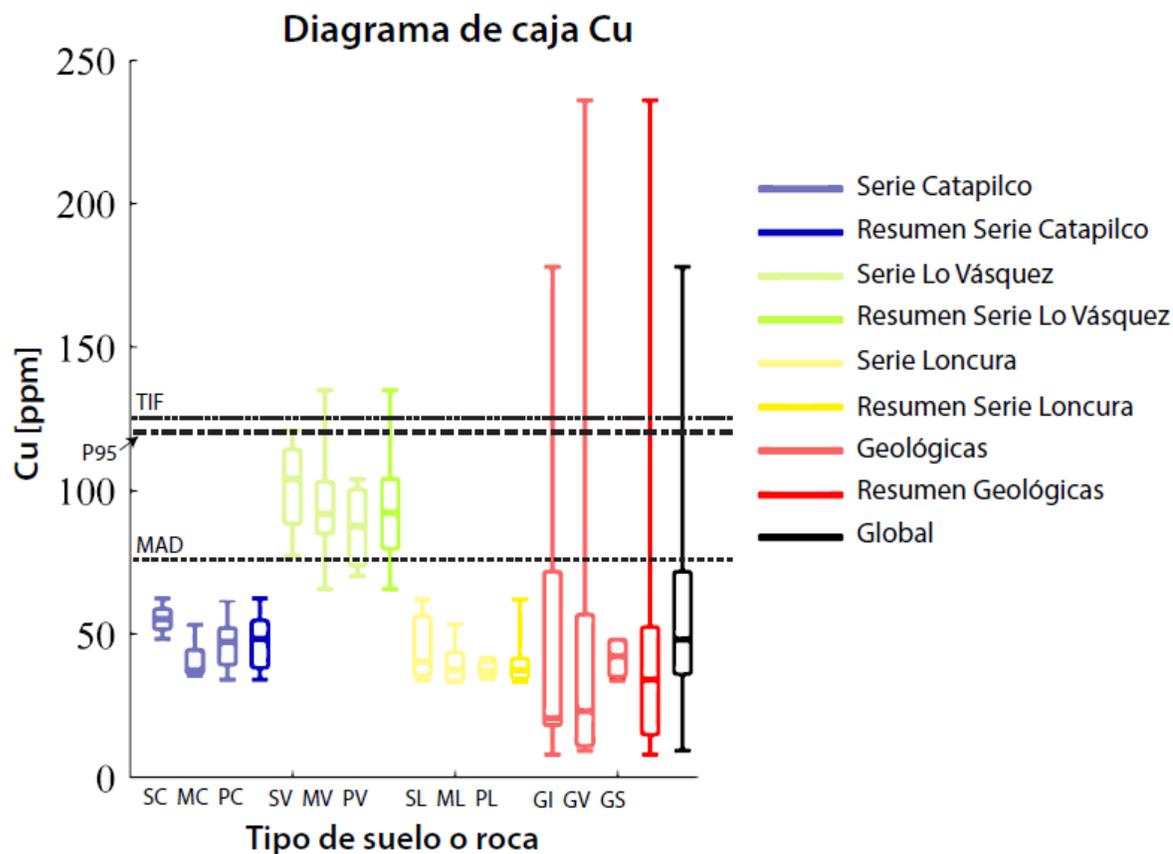


Figura 4.4: Diagrama de caja para Cu para series agrológicas y muestras geológicas. SC: Superficial Catapilco, MP: Media Catapilco, PC: Profunda Catapilco, SV: Superficial Lo Vásquez, MV: Media Lo Vásquez, PV: Profunda Lo Vásquez, SL: Superficial Loncura, ML: Media Loncura, PL: Profunda Loncura, GI: Geológica Intrusivo, GV: Geológica Volcanosedimentaria, GS: Geológica Sedimentaria.

Al igual que en el caso del Fe (pero de manera menos notoria), posiblemente el Cu posea más de una población de datos; una, con valores altos (en torno a los 100 ppm) en la serie Lo Vásquez con algunas de las muestras geológicas y otra, con valores bajos (en torno a los 50 ppm) en las series Catapilco, Loncura y el grueso de las muestras geológicas. Se aplica el mismo razonamiento que en el ejemplo anterior, es decir, si se elige el método TIF o P95, la población de la serie Lo Vásquez estaría bien representada por este valor, en desmedro de los datos de las otras poblaciones que quedarían subrepresentadas.

A modo de ejemplo, si se elige el valor de fondo geoquímico del método TIF (125,1 ppm) y se analiza una muestra de suelo que en un principio tuvo concentraciones parecidas a la serie Loncura (entre 30 y 60 ppm) pero que debido a procesos de contaminación antrópica ha subido su concentración de Cu de manera significativa hasta 110 ppm. Esta muestra quedaría clasificada como no enriquecida. Por el contrario, si se elige el valor del método MAD (76,1 ppm) y se tiene una muestra con valores similares a la serie Lo Vásquez (entre 70 y 135 ppm) la muestra sería catalogada como enriquecida. Sin embargo, este enriquecimiento no sería significativo (entre 2 y 5, ver próxima sección) y no se estaría sobreestimando el enriquecimiento. Además, también es importante evaluar en qué sector de la zona de estudio se encuentra la muestra. En este caso hipotético, se está analizando una muestra de la serie Lo Vásquez que se ubica en la zona

montañosa del área de estudio y lejana al CIV, por tanto, un leve enriquecimiento respecto al fondo geoquímico se puede vincular a un enriquecimiento natural debido a que las muestras agrológicas de la serie Lo Vásquez presentan valores por sobre el valor del MAD, pero que no implican un enriquecimiento asociado a contaminación.

Por tanto, queda justificado la elección del método MAD por sobre los otros métodos por la ventaja de presentar valores intermedios que permitirán no sobreestimar o subestimar demasiado el enriquecimiento en la sección posterior.

4.3. Factor de enriquecimiento (FE)

El factor de enriquecimiento calculado es para cada muestra en cada elemento analizado, por lo que sacar un promedio no es representativo de la totalidad de las 466 muestras analizadas (muestras no urbanas y urbanas). Por tanto, se analiza la totalidad de muestras y el porcentaje respectivo según las 5 categorías de enriquecimiento según Sutherland (2000) (Tabla 4.4). Los elementos que poseen mayor cantidad de muestras con un enriquecimiento significativo, alto o extremo ($FE > 5$) son Cu, Bi, Cd, As, Zn, Pb, Mo, Se y Na (marcados en rojo en Tabla 4.4 y en Figura E.1); variando el porcentaje en cada categoría de enriquecimiento. A pesar de que el porcentaje de muestras con $FE > 5$ es menor al 35%, denota que el enriquecimiento se concentra en zonas específicas dentro del área de estudio. El FE de los demás elementos pertenecen a la categoría de mínimamente a moderadamente enriquecido, con algunas excepciones (muestras con enriquecimiento significativo) en K, V, Cr y Fe con un porcentaje muy bajo (menor al 1%).

El Cu es el elemento que presenta mayor enriquecimiento en la zona de estudio (Figura 4.5). Los mayores FE ($5 \leq FE \leq 20$) se encuentran en las zonas cercanas al CIV, decreciendo en un radio entre 5 a 8 km alrededor de este complejo industrial. Existen algunas muestras aisladas lejanas a este radio que presentan $FE > 5$. Las zonas urbanas que presentan enriquecimiento significativo corresponden a Ventanas, Puchuncaví-Rungue, Loncura y parcialmente Quintero. En el caso del Bi, el patrón es similar, pero existe menor enriquecimiento en las zonas de Loncura y Puchuncaví. En el Cd también es similar al caso del Cu, pero se presenta un leve enriquecimiento en la zona de Maitencillo (para observar distribución espacial de FE en estos elementos ver Anexo E).

En la Figura 4.6 se puede observar la comparación de los mapas de factor de enriquecimiento para el Cu, el As y el Pb, que son elementos que se encuentran en el mismo orden de magnitud según su concentración. El Cu es el elemento que presenta una mayor afectación del área, donde los enriquecimientos altos (colores anaranjados y rojos) se encuentran alrededor del CIV y hacia la zona noreste. Le sigue el As, con un área más pequeña de afectación en torno al CIV, pero manteniendo el enriquecimiento significativo (color amarillo). Mientras que para el Pb, el área de influencia del enriquecimiento es aún más pequeña y focalizándose los enriquecimientos altos completamente cercano al CIV.

El patrón observado en la Figura 4.6 es esperable, puesto que mayores concentraciones en la fuente podrían implicar una mayor dispersión y también, un mayor alcance en dirección noreste, lo que se refleja en los mayores enriquecimientos del Cu en el suelo en esa dirección. Este patrón va mermando conforme la concentración de los otros elementos disminuye en comparación al Cu, manifestado en los menores enriquecimientos del As y del Pb, reduciendo así también su menor alcance de afectación. A pesar de que el patrón es menos intenso, se sigue observando la tendencia de mayor enriquecimiento hacia el noreste en ambos elementos.

Esto tiene sentido con la dirección de los vientos provenientes el suroeste (los que se producen en horas de la tarde) los que tienen una mayor intensidad ($<5,6$ m/s) y por tanto, podrían dispersar con mayor alcance el material particulado proveniente del CIV. Sin embargo, existen otros procesos que pueden afectar la dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

Tabla 4.4: Cantidad de muestras y % respectivo a partir de su factor de enriquecimiento en categorías según Sutherland (2000) para los 19 elementos analizados. En rojo se destacan los elementos con mayor cantidad de muestras con FE>5.

Elemento	Mínimamente enriquecido < 2		Moderadamente enriquecido 2 ≤ FE ≤ 5		Significativamente enriquecido 5 ≤ FE ≤ 20		Muy enriquecido 20 ≤ FE ≤ 40		Extremadamente enriquecido > 40	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Na	289	62,0	164	35,2	12	2,6	1	0,2	0	0,0
Mg	463	99,4	3	0,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0
K	341	73,2	120	25,8	5	1,1	0	0,0	0	0,0
Bi	170	36,5	186	39,9	101	21,7	7	1,5	2	0,4
Ca	424	91,0	40	8,6	2	0,4	0	0,0	0	0,0
Sc	466	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
V	327	70,2	138	29,6	1	0,2	0	0,0	0	0,0
Cr	452	97,0	13	2,8	1	0,2	0	0,0	0	0,0
Mn	448	96,1	18	3,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fe	370	79,4	95	20,4	1	0,2	0	0,0	0	0,0
Co	463	99,4	3	0,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Ni	464	99,6	2	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cu	114	24,5	187	40,1	147	31,5	13	2,8	5	1,1
Zn	183	39,3	259	55,6	24	5,2	0	0,0	0	0,0
As	239	51,3	174	37,3	48	10,3	3	0,6	2	0,4
Se	323	69,3	129	27,7	12	2,6	1	0,2	1	0,2
Mo	355	76,2	89	19,1	21	4,5	0	0,0	1	0,2
Cd	160	34,3	206	44,2	91	19,5	7	1,5	2	0,4
Pb	257	55,2	186	39,9	21	4,5	0	0,0	2	0,4

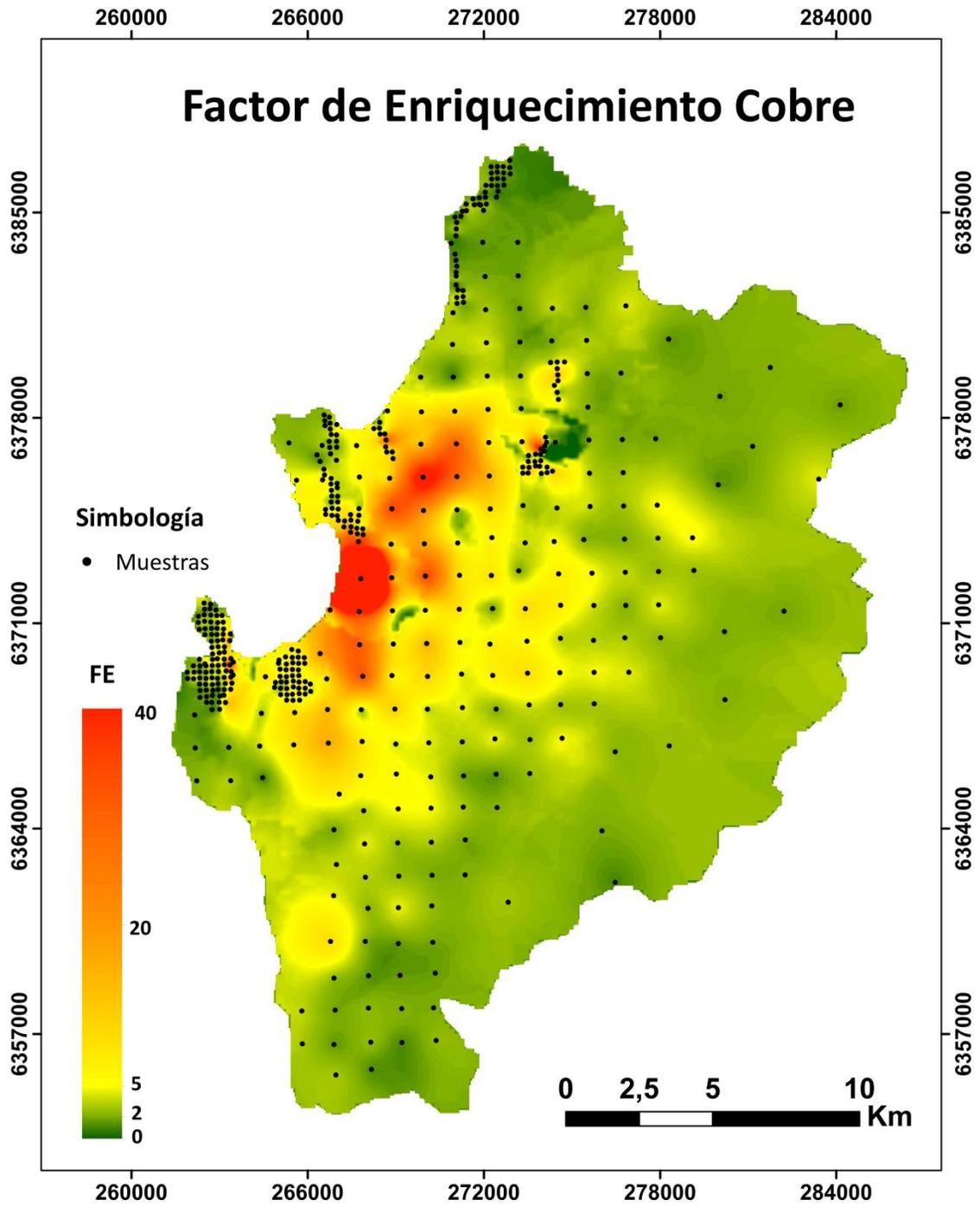


Figura 4.5: Factor de enriquecimiento para el Cobre a escala 1:150.000.

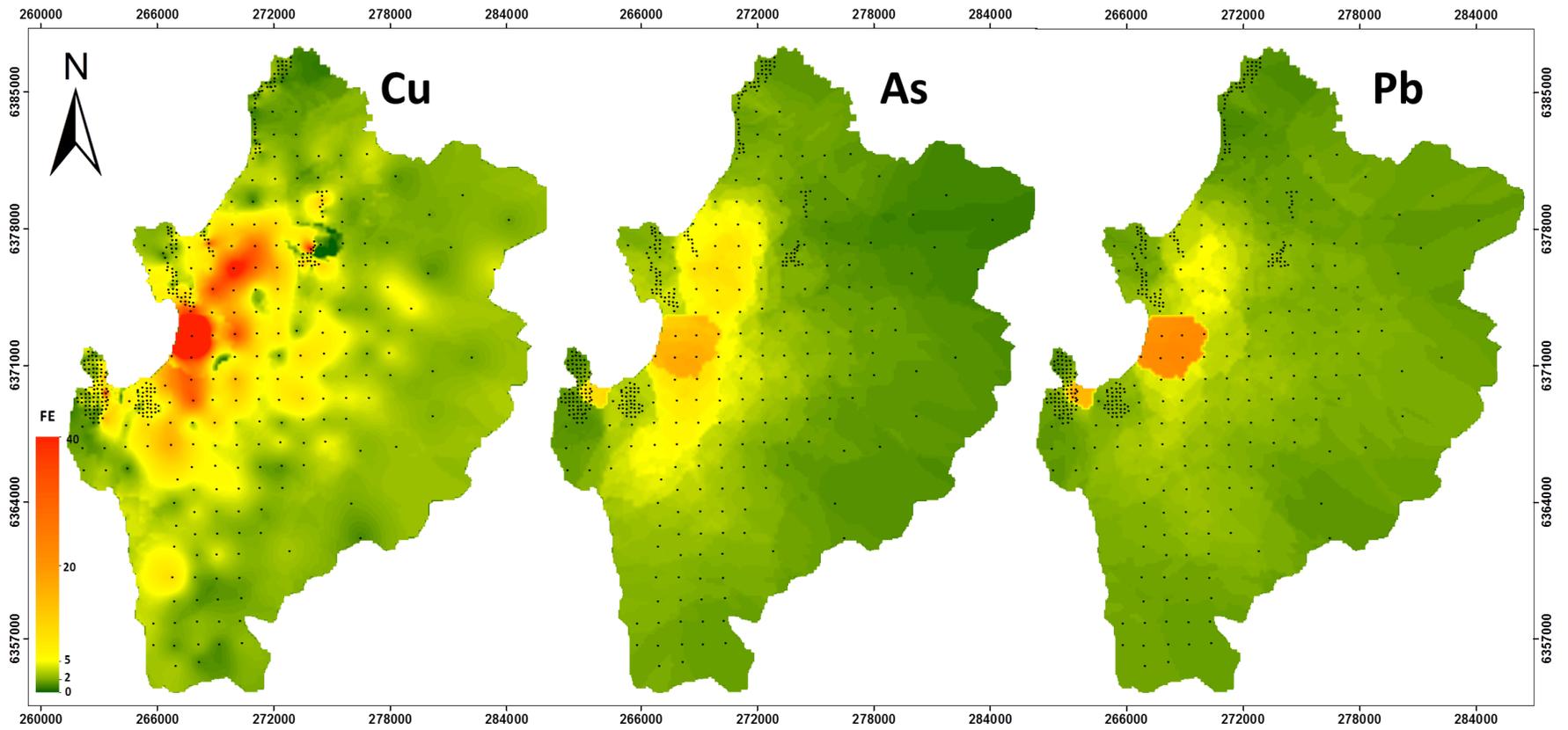


Figura 4.6: Comparación de mapas de factores de enriquecimiento para Cu, As y Pb a escala de 1:135.000.

En cuanto al Fe (Figura 4.7), el mapa muestra cierta uniformidad, ya que los FE se encuentran entre 0 y 5 (enriquecimientos mínimos a moderados). Existen zonas en Quintero y Loncura donde el color verde se observa más claro, lo que implica que los enriquecimientos son más altos (FE en torno a 3) en relación al resto del área de estudio. Este comportamiento se replica en el Cr y V. En el Mn se nota un enriquecimiento muy leve hacia la zona Este. En el caso del Zn, los valores de enriquecimiento significativo (entre 5 y 8) se encuentran alrededor del CIV y en los poblados de Loncura y Quintero, sin embargo, el mapa en su totalidad se muestra uniforme.

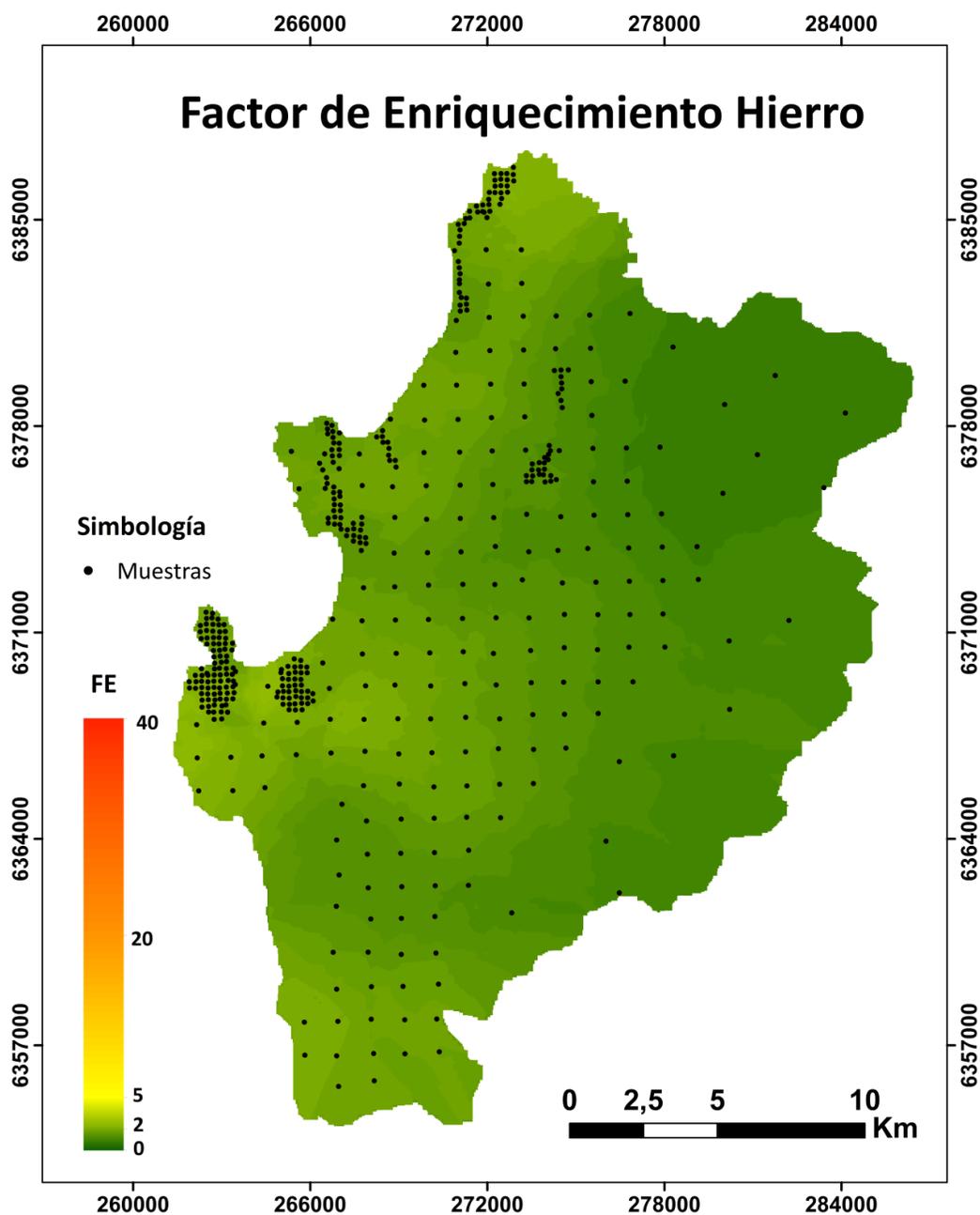


Figura 4.7: Factor de enriquecimiento para el Hierro a escala 1:150.000.

4.4. Análisis de componentes principales

Se realizaron una gran variedad de análisis de componentes principales a los distintos grupos de muestras disponibles, pero se decidió limitar la discusión a los grupos de muestra que mostraron fuertes agrupaciones de datos, en concreto las muestras agrológicas y las pertenecientes a la zona no urbana. Debido a la mayor dispersión espacial de las muestras en la zona no urbana, se dividieron los datos en zona enriquecida (muestras cercanas al CIV a un radio de 6 -7 km alrededor de éste) y zona no enriquecida (muestras lejanas al CIV posterior al radio de 6 -7 km) con el objetivo de evaluar si existe una diferencia significativa en el comportamiento de los componentes principales.

En la Figura 4.8 se observa el análisis de componentes principales realizado para las muestras agrológicas (muestras que se utilizaron para realizar el cálculo del fondo geoquímico de la zona). Se consideraron sólo las muestras de suelo (dejando fuera las muestras geológicas), ya que la comparación del análisis de componentes principales con las muestras no urbanas son sólo muestras de suelo.

Se exhibe una agrupación general de Zn, Fe, V, Cr, Mn, Co, Ca, Mg, Na y Sc asociados al factor 1, el que explicaría aproximadamente un 53% de la variabilidad. Las cargas factoriales varían entre 0,7 y 0,9 (Tabla F.1), lo que denota que están bien explicados por el factor 1 y una correlación entre 0,7 y 0,9 en la matriz de correlación de Pearson para los elementos antes mencionados (Tabla F.2). Esta agrupación de elementos se puede interpretar como la huella geoquímica natural de los suelos de la zona.

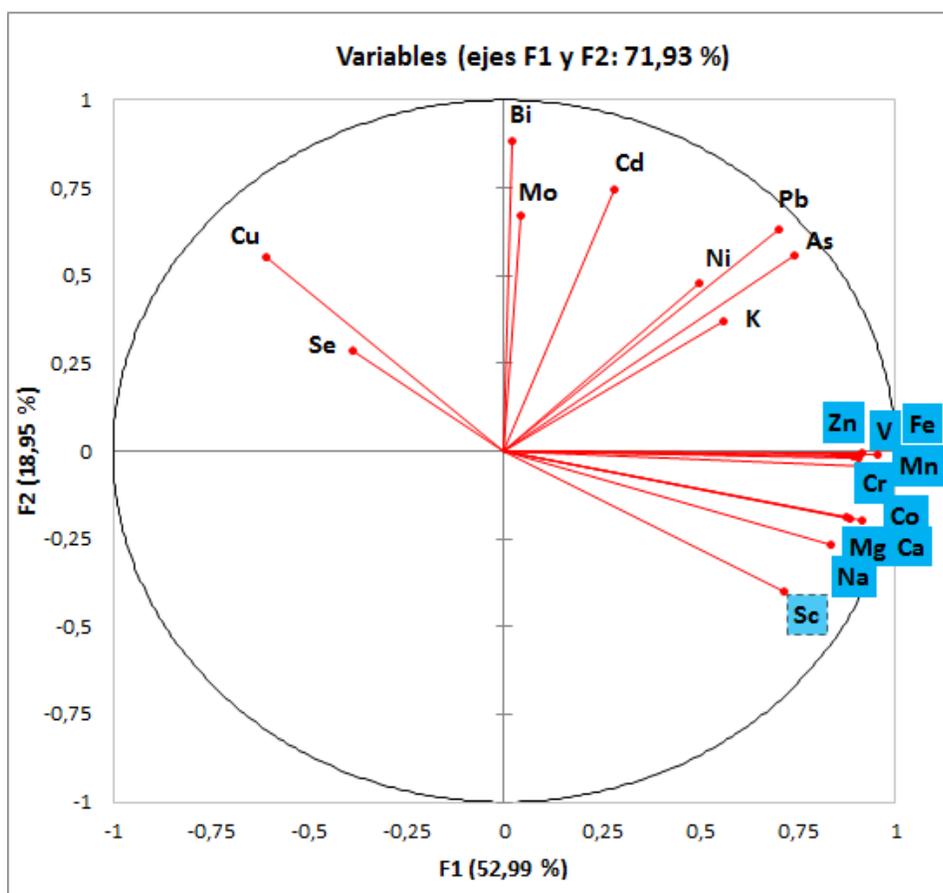


Figura 4.8: ACP para muestras agrológicas. Elaboración propia a partir de software XLSTAT.

En tanto, en la zona **no urbana enriquecida** (Figura 4.9) se observa como un 56,7% de la variabilidad de los datos se explica por dos factores, los cuales a su vez explican un 37,2% (F1) y un 19,5% (F2) de la variabilidad. El diagrama muestra dos agrupaciones de elementos bastante bien definidas, por un lado se agrupan los elementos Cd, Cu, As, Mo, Bi, Pb y Zn* (grupo 1 verde en Figura 4.9) con cargas factoriales para F1 de 0,9 o superiores, lo cual claramente indica que la variabilidad de estos elementos está casi exclusivamente explicada por el F1. La matriz de correlación de Pearson indica valores en torno al 0,9 para este grupo (Tabla F.4). Por otro lado, se puede ver la agrupación de V, Mg, Fe, Sc, Ca, Cr, Mn* y Co* (grupo 2 celeste) los que muestran cargas factoriales para F2 entre 0,51 y 0,73 (Tabla F.3). Los elementos marcados en * podrían pertenecer o no a los grupos, ya que a pesar de poseer valores similares en cuanto a la carga del factor, se encuentran más alejados del grupo principal.

En base a todas las observaciones realizadas hasta ahora, se interpreta que el F1 correspondería a procesos de contaminación. Por tanto, explica la variabilidad y agrupa los elementos que aparecen enriquecidos debido a dichos procesos, mientras que el F2 correspondería a la huella geoquímica natural de los suelos que agruparía los mismos elementos anteriormente mencionados para el caso de las muestras agrológicas (Figura 4.8).

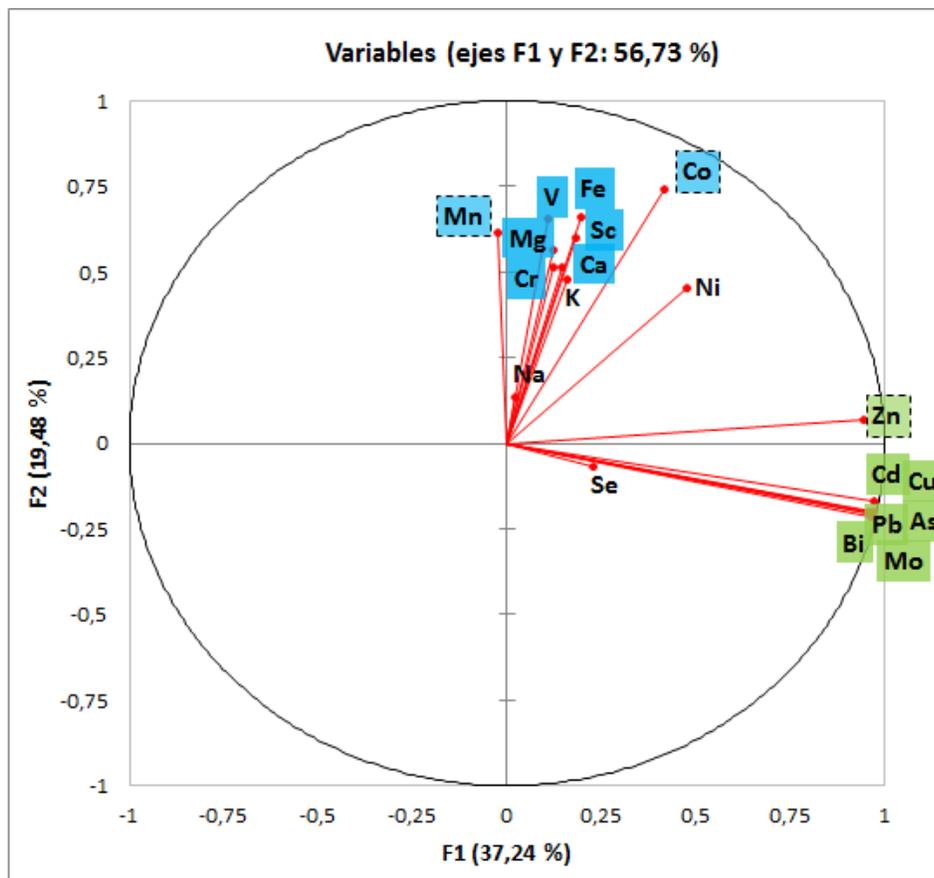


Figura 4.9: ACP para zona **no urbana enriquecida**. Elaboración propia a partir de software XLSTAT.

Para la zona **no urbana no enriquecida** (Figura 4.10), se observan a grandes rasgos los mismos grupos que en la zona no urbana enriquecida (Figura 4.9). Sin embargo, la variabilidad del grupo 2 (celeste) es mayoritariamente explicada por el F1 mientras que la del grupo 1 (verde) es mayoritariamente explicada por el F2. Así, para las muestras no enriquecidas se invierte el orden de relevancia de los procesos involucrados, pasando a ser la huella geoquímica natural el proceso que explica la mayor proporción de la variabilidad de los datos para F1 (27,5%). Mientras que los procesos de contaminación explicarían tan solo un 21,7% de la variabilidad de los datos y pasaría por tanto, a ser el F2. Esta inversión de la preponderancia de los procesos es lógica y esperada debido a la menor presencia de contaminantes en las muestras no enriquecidas frente a las enriquecidas.

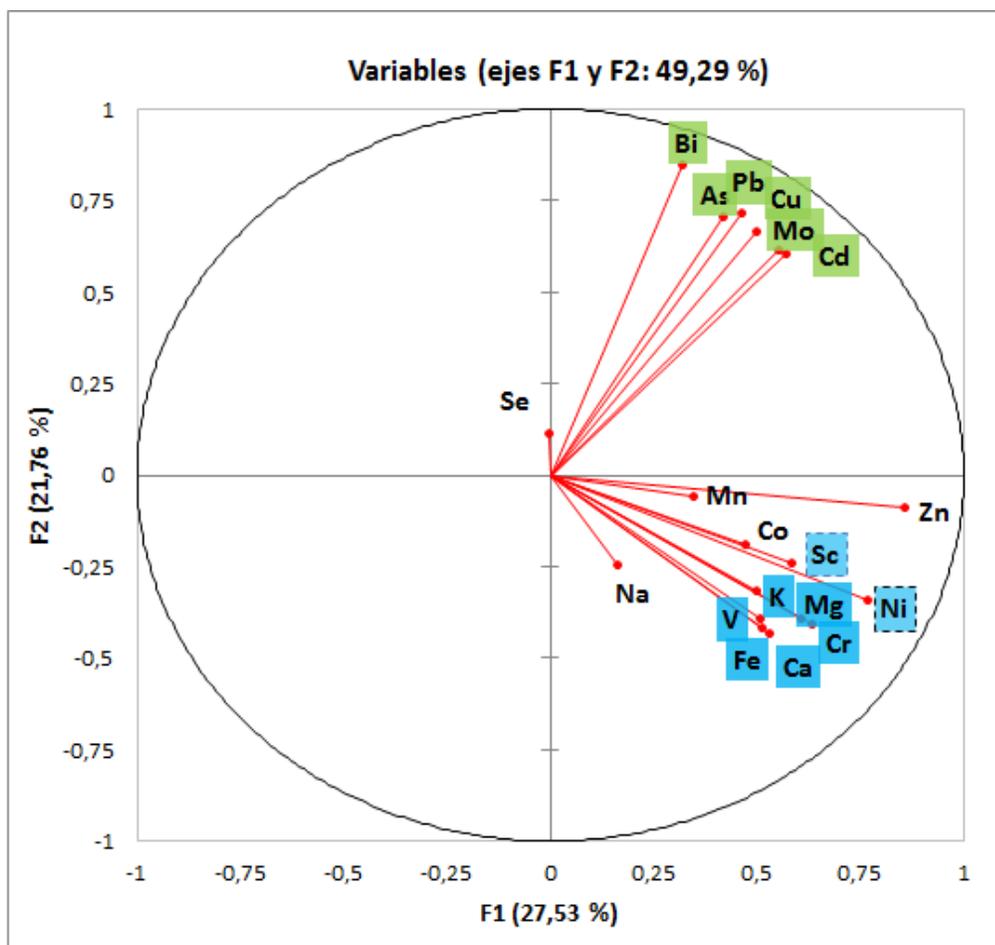


Figura 4.10: ACP para zona no urbana no enriquecida. Elaboración propia a partir de software XLSTAT.

4.5. Análisis mineralógico

El resumen de las fases minerales para las 30 muestras analizadas se muestra en la Tabla 4.5. El detalle de la asignación mineral realizada a cada difractograma se puede ver en el Anexo G.

Los minerales primarios que componen las muestras analizadas son en mayor proporción albita y cuarzo (siendo el sumatorio de ambos superior al 50% de la semi-cuantificación, a excepción de la muestra MQ21). En algunas de las muestras se presentan minerales del grupo de los anfíboles tales como pargasita o tremolita, entre otros; en una mucha menor proporción en relación a la albita y cuarzo. Así también, en algunas muestras existe presencia de muscovita, biotita y clorita. En la mayoría de las muestras se encuentra hematita en porcentajes menores al 20%.

La mineralogía presente es consecuente con la litología de algunas de las rocas que se encuentran en la zona de estudio, donde los cuerpos intrusivos están formados por tonalitas, dioritas cuarcíferas de anfíboles, monzodioritas de hiperstena y biotita, granodioritas y monzogranitos de

biotita y hornblenda. Estas rocas están compuestas en un gran porcentaje por plagioclasa (en este caso sódica) seguido por un menor porcentaje de cuarzo. Los minerales máficos que se encuentran son los anfíboles y biotita, los que varían en su proporción y presencia.

Es importante acotar que, dentro de las muestras analizadas por difracción de rayos X pueden existir fases minerales de baja cristalinidad o con una abundancia menor al 5% que no hayan sido detectadas y asignadas en el presente estudio. Por tanto, puede haber minerales (o sólidos amorfos) que no están considerados dentro del análisis mineralógico, tales como sulfuros o sulfatos los que justamente están compuestos por metales pesados, que son el objeto de interés de este estudio.

Tabla 4.5: Resumen de fases minerales encontrados en difractogramas y semi-cuantificación de las 30 muestras analizadas.

Código	Tectosilicatos		Óxidos			Anfiboles					Piroxenos	Filosilicatos			Sulfato	Sorosilicato
	Cuarzo	Albita	Hematita	Magnetita	Birnessita	Pargasita	Tremolita	Actinolita	Tirodita	Anfibol	Augita	Muscovita	Biotita	Clorita	Yeso	Epidota
NC48	56	36	8													
OC38	42	54	4													
OC40	30	67	3													
OC42	30	68	2													
OQ21	41	55										4				
OV01	17	51				26								6		
OV03	22	68									10					
EC04	61	33	6													
Loncura FB15	16	50	9			20								5		
Loncura FA30	21	53	6			20										
CC06	31	67	2													
CC65	25	61	1								13					
CC69	21	78	1													
EC03	24	69	2					5								
EC06	15	59												26		
EC13	25	29	23							9	14					
Lo Vásquez FA15	22	43			3						32					
MM09	20	52	12	10												6
MM19	20	61	17				2									
MM21	23	68	3								6					
MP03	23	66						11								
MQ02	26	60	12				2									
MQ21	7	24							6		63					
NC13	22	51	2							25						
NC14	29	67	4													
NC46	25	57	5				13									
NC47	12	42	12								34					
NQ03	21	55	7				17									
SP04	30	60	4													6
SP12	30	53	2							15						

5. DISCUSIONES

5.1. Análisis de procedencia según concentraciones, enriquecimiento, asociaciones geoquímicas y mineralogía.

Según los resultados obtenidos en los análisis realizados, el cobre es el elemento que más influencia tiene en el área de estudio, tanto por su alta concentración como por el enriquecimiento exhibido en la zona. Las mayores fuentes de contaminación (principalmente fundiciones de minerales no férricos) presentan halos en que las concentraciones de cobre en la superficie del suelo decrecen con la distancia, y que se pronuncian especialmente según la dirección del viento predominante (Kabata-Pendias, 2001).

Concentraciones de Cu por sobre 4500 ppm se han reportado en inmediaciones de fundiciones de Cu-Ni en la península de Kola, Rusia; mientras que en Canadá se han informado valores en un rango entre 1400-3700 ppm de concentración de Cu a una distancia de 3 a 6,3 km de la fundición (Kabata-Pendias, 2001). En el área de estudio, existen 15 muestras con valores sobre los 1000 ppm y el valor máximo alcanza 9620 ppm, lo que es consecuente con el tipo de contaminación por fundiciones de Cobre. Además, el halo del factor de enriquecimiento muestra una distancia aproximada de 5 a 8 km desde la fuente de emisión, con mayor acentuación hacia el noreste. Existen otras fuentes menores de contaminación de cobre, tales como fertilizantes, sprays o desechos agrícolas, sin embargo, a la escala de trabajo de este estudio, no son discernibles y se ven opacadas por la fuente de contaminación principal.

Respecto al análisis de componentes principales, la agrupación de Cu, As, Bi, Mo, Cd y Pb representa a los elementos de origen antropogénico y contaminantes por ser un aporte que rompe el equilibrio dinámico del suelo natural. El origen común de estos elementos proviene de fuentes industriales (Slavkovic et al., 2004), específicamente atribuible a la fundición de cobre como se ha demostrado en estudios previos (González, 1992; Ginocchio et al., 2004) y según el análisis de cobre mencionado anteriormente, con la incorporación de los elementos Bi y Mo para este caso de estudio.

La contaminación de suelos por fundiciones de cobre ha sido investigado en diferentes países, por ejemplo China (Liao et al., 2005), Reino Unido (Rimmer et al., 2006), México (Carrizales et al., 2006), Polonia (Dunnette et al., 1994), Rusia (Bustueva et al., 1994), Turquía (Cubukcu & Tuysuz, 2006), entre otros. Los estudios constatan que en dichos lugares la contaminación por Cu se encuentran típicamente acompañada por otros elementos tóxicos tales como el As, Cd, Cu y Pb. Paralelamente, también se ha reportado que las plantas termoelectricas pueden incrementar la concentración de As, Pb, Sb y Hg (Godoy et al., 2005; Vejehati et al., 2010; Bhangare et al., 2011).

Respecto a los enriquecimientos de los elementos analizados, el Cu es el elemento que presenta mayores factores de enriquecimiento en el área de estudio, focalizado en la zona cercana al CIV. Los demás elementos pertenecientes al grupo de contaminantes (adicionalmente se encuentra Zn, Se y Na con enriquecimientos significativos) presentan el mismo patrón de enriquecimiento que el Cu, sin embargo, tienen enriquecimientos menores. El orden decreciente de enriquecimiento para estos elementos sería el siguiente: Cu > Bi > Cd > As > Zn > Pb > Mo > Se > Na. Para el caso del Se (Anexo D) el patrón de enriquecimiento es en torno al CIV, focalizado en el poblado de Quintero y en focos aislados, por lo que el enriquecimiento alto podría estar asociado a otras fuentes. En cuanto al Na (Anexo D), los enriquecimientos significativos se encuentran en la zona de Quintero y al sur de este poblado.

La mineralogía obtenida mediante difracción de rayos X muestra principalmente la presencia de Cuarzo, Albita y Hematita, junto a otras fases minerales con menor cuantificación. Esta mineralogía es concordante a la obtenida por Parra et al. (2014), quien obtuvo mediante caracterización de SEM y DRX una mayor predominancia de Cuarzo, Albita, Hematita, Microclina, Illita y Perovskita. En este estudio también se observó Tenorita (partículas de óxido de cobre) en fracciones de suelo menores a 6 µm, que se asociaron a la emisión de partículas enriquecidas de la fundición de cobre.

El grupo característico de la marca geoquímica del suelo natural compuesto por V, Fe, Zn, Mn, Cr, Co, Mg, Ca, Na y Sc son elementos típicamente encontrados en suelos (Manta et al., 2002; Guvenç et al., 2003) además de ser elementos mayores y traza típicos de los minerales primarios y secundarios que forman parte del material parental que da origen al suelo (Galán & Romero, 2008). Estos elementos tienen un enriquecimiento variable entre 1 y 2 en el caso del Sc, Mg, Co, Ca, Cr y Mn en casi la totalidad de las muestras, lo que implica un enriquecimiento mínimo a moderado de un suelo no perturbado. Para el V, Fe, Zn y Na, en la mayoría de las muestras se tiene un enriquecimiento moderado, a pesar de que en algunas muestras se presentan enriquecimientos significativos. Tan sólo 1 muestra en el caso del V y Fe presentan enriquecimientos sobre 5, y alrededor del 5,2 y 2,6% de las muestras tienen enriquecimientos entre 5 -12 y 5-10 para el Zn y Na, respectivamente. Estos enriquecimientos moderados denotan el origen geogénico de estos elementos, ya que son componentes naturales de las rocas.

A pesar de que se suelen asociar a contaminación de procesos antropogénicos elementos tales como el Cr y Co, los enriquecimientos mínimos a moderados denotan que los suelos de la zona no estarían enriquecidos en estos elementos, además de que se encuentran dentro de los rangos aceptables según la normativa de calidad de suelos para otros países. En el caso del V y Zn, también son elementos que se pueden asociar a procesos antropogénicos, sin embargo, la presencia de hematita que se evidenció en la mayoría de las muestras a partir de la difracción de rayos X, podría traer consigo ciertas impurezas de metales pesados tales como V, Zn o Mn que estarían asociados a un origen natural (Zuñiga, 1999). Asimismo los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn son componentes comunes del suelo (producto de la meteorización de otros minerales) siendo éstos importantes retenedores e inmovilizadores de metales pesados como los mencionados anteriormente (Galán & Romero, 2008).

Existe dualidad en el comportamiento del Zn. Pese a que en el párrafo anterior se ha argumentado sobre el origen natural del Zn, al estar agrupado con elementos propios de la huella geoquímica natural del suelo y también, asociado a la hematita; también podría estar asociado a procesos antropogénicos. Por un lado, el mapa de factor de enriquecimiento del Zn (Anexo D), muestra enriquecimientos significativos en torno al CIV y también en la zona de Loncura. Por otro lado, según el análisis de componentes principales para las muestras no urbanas enriquecidas, el Zn también tiene una carga significativa 0,94 en torno al Factor 1 (a pesar de estar alejado del grupo verde principal) que es el que denota procesos asociados a contaminación. Por lo que las muestras con factor de enriquecimiento moderado de Zn podrían asociarse a un origen geogénico, mientras que las de factor de enriquecimiento significativo, podrían asociarse a un origen antropogénico.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente investigación se analizaron los suelos de la comuna de Quintero y Puchuncaví. Este lugar ha sido denominado como “zona de sacrificio” por su conocido historial de contaminación asociado a las emisiones provocadas por las empresas industriales agrupadas en el CIV, el crecimiento sostenido a través del tiempo del parque industrial y episodios de problemas de salud en la población aledaña. Dado este contexto, el objetivo de este trabajo fue generar información geoquímica y geoestadística de los suelos de la zona que permitiera distinguir entre la componente natural y antrópico de éstos.

El establecer un fondo geoquímico natural en el área de estudio es necesario para éste y cualquier tipo de trabajo donde el objetivo sea evaluar origen de fuente o contaminación. Esto, para tener valores con los que comparar cuánto sobrepasa la concentración natural y también, para poder generar índices de riesgo ecológicos tales como el factor de enriquecimiento que califican y cuantifican el enriquecimiento o contaminación en una zona determinada. Tal como se hace en algunos trabajos (Nolting et al., 1999; Salmanighabeshi et al., 2015), generar el factor de enriquecimiento con los valores generados para la corteza terrestre carece de validez, ya que la corteza terrestre es heterogénea y no representa la realidad geoquímica de una zona local. En lo posible, es importante también poseer una base de datos amplia para la realización del cálculo del fondo geoquímico que sea representativo de la zona de estudio y asegurarse que las muestras seleccionadas sean de origen natural y suelo no intervenido. La realización de un fondo geoquímico natural es el primer paso para luego establecer niveles de concentraciones máximos aceptables que no afecte la salud de las personas. Apuntar en ese camino proveería las herramientas para poder realizar una normativa legal de calidad de suelos.

De acuerdo con la hipótesis de este estudio, la composición de los suelos efectivamente exhibe concentraciones altas para elementos tales como el Cu, Cd, As, Pb, Mo y Bi. Esto se ratifica con los análisis realizados en este estudio, los que demostraron que el enriquecimiento de los suelos también es alto y extremadamente alto en algunas de las muestras para estos elementos, lo que denota que el enriquecimiento se encuentra focalizado en la zona aledaña al CIV y en los poblados de Ventanas, Loncura, Quintero y Puchuncaví; variando el enriquecimiento entre un elemento y otro, donde el Cu es el elemento que presenta mayor enriquecimiento. Por medio del análisis de componentes principales, se determinó que los elementos Cu, Cd, As, Pb, Mo y Bi se explican por el mismo factor, lo que presume que estos elementos provienen de la misma fuente. Según la bibliografía consultada (González et al., 1992; Ginocchio et al., 2004; Parra et al., 2014) el Cu, Cd, As y Pb son elementos que provienen de la fundición de cobre. De esta manera, se respalda la hipótesis de origen antropogénico de los elementos con concentraciones elevadas.

Por tanto, es evidente que los elementos Cu, As, Pb, Mo, Bi y Cd provienen de fuentes contaminantes de origen antropogénico. Esto se comprueba en este estudio dado los altos factores de enriquecimiento, su agrupación según el análisis de componentes principales que denotan proveniencia de la misma fuente y las diversas investigaciones previas que respaldan la hipótesis (Parra et al, 2014; González et al., 1992; Ginocchio, 2000; Ginocchio et al., 2004). Sin embargo, afirmar que el suelo de la zona está contaminado y enriquecido, lamentablemente no es suficiente

para tomar medidas de prevención y remediación, ya que Chile carece de una normativa legal que regularice la calidad de suelos y entregue umbrales de concentración tanto como de referencia como máximos permisibles que no afecten la salud de las personas que viven cercanas al Complejo Industrial. Las medidas tomadas en torno a la problemática de esta zona de sacrificio, reside en parte en la regularización de la emisión del material particulado a la atmósfera (Decretos Supremos mencionados en antecedentes históricos). Sin embargo, estas partículas se acumulan en el suelo tras décadas y décadas de producción de las empresas que se encuentran en la zona. Esto representa una problemática real, ya que la acumulación de los metales pesados en la capa superficial del suelo es disponible para la ingestión e inhalación de humanos. En consecuencia, es necesario tomar medidas que apunten a la remediación y mitigación de la calidad del suelo que ya se encuentra contaminado por acumulación a través del tiempo.

Respecto a la componente natural de los suelos de la zona, los elementos V, Fe, Zn, Mn, Cr, Co, Mn, Ca, Mg y Sc fueron agrupados por el análisis de componentes principales. A pesar de que en esta agrupación hay elementos que generalmente se asocian a procesos antropogénicos tales como el V, Zn, Cr, Co y Mn, también son elementos que se pueden encontrar de manera natural en el suelo. La presencia de hematita en alguna de las muestras revela que la presencia de alguno de estos elementos (Mn, V, Zn) podría ser impurezas contenidas en la estructura de este mineral. Además, los enriquecimientos presentados por estos elementos son moderados a mínimos, lo que ratifica su origen natural. Sin embargo, no se descarta que alguna de las muestras para el V y el Zn, sobre todo las cercanas al CIV, puedan tener un origen antropogénico asociado a los elementos determinados como contaminantes. Además, a partir del análisis mineralógico realizado para algunas de las muestras, se puede inferir el origen geogénico de los suelos presentes en la zona, los que están asociados a la litología de las rocas que representan el material parental a partir del cual se forman.

Para concluir, a pesar de que la zona está catalogada como contaminada tanto en suelos como en el aire, es necesario llevar a cabo este tipo de estudios a un siguiente nivel. Por un lado, se sugiere analizar la toxicología y biodisponibilidad de los metales pesados que tienen alta concentración para determinar qué tan peligroso es que las personas se encuentren expuestas al ambiente contaminado y así valorar la contaminación en función de la influencia sobre los humanos. Por otro lado, se recomienda investigar la movilidad de los contaminantes dentro del perfil de suelo y asociarlos al pH, materia orgánica y mineralogía donde se encuentran presentes estos metales para evaluar su comportamiento y evolución.

En la línea de esta investigación, finalmente, se propone que en el análisis de concentración de las muestras de suelo contengan al azufre, lo que permitiría realizar asociaciones mineralógicas de sulfuros con metales pesados con el objeto de inferir, de manera más clara, el origen de estos metales. Asimismo, se sugiere el uso de microscopía electrónica de barrido (SEM), pues permite visualizar partículas amorfas o de baja cristalinidad que no son consideradas por la difracción de rayos X.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ander, E. L., Johnson, C. C., Cave, M. R., Palumbo-Roe, B., Nathanail, C. P., & Lark, R. M. (2013). Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. *Science of the Total Environment*, 454, 604-618.
- Australian Department of Environment and Conservation (2010). Assessment level for soil, sediment and water. Recuperado de <http://www.esdat.net/Environmental%20Standards/Australia/WA/Assessment%20Levels%20-%202010.pdf>.
- Ballesta, R. J. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Mundi-Prensa Libros.
- Bundes-Bodenschutzgesetz (1998). Act on Protection against harmful changes to Soil and on Rehabilitation of Contaminated Sites. (Federal Soil Protection Law) 17.3.1998, Bundes-Gesetz-Blatt (Federal Law Gazette), I, 502, 1998.
- Bhangare, R. C., Ajmal, P. Y., Sahu, S. K., Pandit, G. G., & Puranik, V. D. (2011). Distribution of trace elements in coal and combustion residues from five thermal power plants in India. *International Journal of Coal Geology*, 86(4), 349-356.
- Bustueva, K. A., Revich, B. A., & Bezpalko, L. E. (1994). Cadmium in the environment of three Russian cities and in human hair and urine. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 49(4), 284-288.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (2007). Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health. Recuperado de http://www.esdat.net/Environmental%20Standards/Canada/SOIL/rev_soil_summary_tbl_7.0_e.pdf.
- Carrizales, L., Razo, I., Tellez-Hernandez, J. I., Torres-Nerio, R., Torres, A., Batres, L. E., ... & Díaz-Barriga, F. (2006). Exposure to arsenic and lead of children living near a copper-smelter in San Luis Potosi, Mexico: Importance of soil contamination for exposure of children. *Environmental research*, 101(1), 1-10.
- Chiang, J., Cornejo, P., López, J., Romano, S., Pascual, J., & Cea, M. (1985). Determinación de cadmio, cobre, manganeso, plomo, hierro, cinc y arsénico en sedimento atmosférico, en la zona de Quintero, V Región, Valparaíso. *Chile. Soc. Chil. Quim*, 30, 139-158.
- CIREN (1997). Estudio Agrológico V Región. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile. 371 p.
- Codelco Transparente (s/f). Zona industrial de Ventanas. Recuperado de <https://www.codelcotransparente.cl/codelcotransparente/ventanas-mapa-zona-industrial>.

- Çubukçu, A., & Tüysüz, N. (2007). Trace element concentrations of soils, plants and waters caused by a copper smelting plant and other industries, Northeast Turkey. *Environmental geology*, 52(1), 93-108.
- Desaules, A. (2012). Critical evaluation of soil contamination assessment methods for trace metals. *Science of the Total Environment*, 426, 120-131.
- Dirección Meteorológica de Chile (2019). Servicios Climáticos. Temperatura Media Climatológica. Recuperado de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anual/temperaturaMediaAnual/320056/2019>
- Dirección Meteorológica de Chile (2019). Servicios Climáticos. Temperatura Máxima Diaria. Recuperado de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anual/temperaturaMaximaAnual/320056/2019>
- Dirección Meteorológica de Chile (2019). Servicios Climáticos. Temperatura Mínima Diaria. Recuperado de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anual/temperaturaMinimaAnual/320056/2019>
- Dunnette, D. A., Kowalik, P., Krechniak, J., & Makinia, J. (1994). Perspectives on hazardous emissions and public health in Poland. In *Hazardous waste and public health: International congress on the health effects of hazardous waste* (pp. 178-191). Princeton Science Publication Princeton, NJ.
- Espiñeira, D. (1989). *Geología del complejo plutónico Papudo-Quintero; Aspectos cronológicos y geoquímicos*. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito).
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Iica.
- Ginocchio, R. (2000). Effects of a copper smelter on a grassland community in the Puchuncavi Valley, Chile. *Chemosphere*, 41(1-2), 15-23.
- Ginocchio, R., Carvallo, G., Toro, I., Bustamante, E., Silva, Y., & Sepulveda, N. (2004). Micro-spatial variation of soil metal pollution and plant recruitment near a copper smelter in Central Chile. *Environmental Pollution*, 127(3), 343-352.
- Godoy, M. L. D., Godoy, J. M., & Artaxo, P. (2005). Aerosol source apportionment around a large coal fired power plant—Thermoelectric Complex Jorge Lacerda, Santa Catarina, Brazil. *Atmospheric Environment*, 39(29), 5307-5324.

- González, S. (1992). Acumulación metálica en suelos del área bajo influencia de las chimeneas industriales de Ventanas (Provincia de Valparaíso, V Región). *Agricultura Técnica (Chile)*, 50(2), 214-21s.
- González, S., & Berqvist, E. (1986). Evidencias de contaminación con metales pesados en un sector del secano costero de la V Región. *Agricultura técnica*, 46(3), 299-306.
- Hites, R. A. (2019). Correcting for Censored Environmental Measurements [News]. *Environmental Science & Technology*, 53, 11059–11060.
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 10, 48-60.
- Guvenc, N., Alagha, O., & Tuncel, G. (2003). Investigation of soil multi-element composition in Antalya, Turkey. *Environment international*, 29(5), 631-640.
- Instituto Nacional de Estadísticas (2017). Reportes Estadísticos Comunales 2017. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de <http://reportescomunales.bcn.cl/2017/index.php/Quintero>
- Instituto Nacional de Estadísticas (2017). Reportes Estadísticos Comunales 2017. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de <http://reportescomunales.bcn.cl/2017/index.php/Puchuncav%C3%AD>
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. 281 pp. New York, 801.
- Kabata-Pendias, A. (2001). *Trace elements in soils and plants*. CRC press.
- Liao, B., Guo, Z., Probst, A., & Probst, J. L. (2005). Soil heavy metal contamination and acid deposition: experimental approach on two forest soils in Hunan, Southern China. *Geoderma*, 127(1-2), 91-103.
- Loska, K., Wiechuła, D., & Korus, I. (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment international*, 30(2), 159-165.
- Luzio Leighton, W. (2010). *Suelos de Chile*. Universidad de Chile.
- Manta, D. S., Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R., & Sprovieri, M. (2002). Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *Science of the total environment*, 300(1-3), 229-243.
- Marín, J.M., (2017). Tema 3: Análisis de Componentes Principales. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema3am.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente (2013). Guía de muestreo y de análisis químicos, para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes. Santiago, Chile.

- Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (Netherlands) (2000). Circular on target values and intervention values for soil remediation. http://www.esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS_I2000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf
- Nolting, R. F., Ramkema, A., & Everaarts, J. M. (1999). The geochemistry of Cu, Cd, Zn, Ni and Pb in sediment cores from the continental slope of the Banc d'Arguin (Mauritania). *Continental Shelf Research*, 19(5), 665-691.
- Parra, S., Bravo, M. A., Quiroz, W., Moreno, T., Karanasiou, A., Font, O., Vidal, V., & Cereceda, F. (2014). Distribution of trace elements in particle size fractions for contaminated soils by a copper smelting from different zones of the Puchuncaví Valley (Chile). *Chemosphere*, 111, 513-521.
- Piraces, R., & Makshev, V. (1977). Geología de la Hoja Quillota. *IIG, Santiago (unpublished)*.
- PGS Chile (2015). Muestreo de suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví. Región de Valparaíso, Santiago, Chile
- Porta, J., Aran, M., Boixadera, J., Llusà, N., López-Acevedo, M., Poch, R. M., Teira, M. R., Villar, J. M., Espinal, S. (2008). Protecció de sòls: Catalunya, Illes Balears, Principat d'Andorra. Recuperado de <http://www.iec.cat/mapasols>
- Programa para la Recuperación Ambiental y Social (s/f). Desarrollo histórico de Ventanas. Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado de https://pras.mma.gob.cl/desarrollo_historico_ventanas/
- Redon, P. O., Bur, T., Guiresse, M., Probst, J. L., Toiser, A., Revel, J. C. & Probst, A. (2013). Modelling trace metal background to evaluate anthropogenic contamination in arable soils of south-western France. *Geoderma*, 206, 112-122.
- Reimann, C., & de Caritat, P. (2005). Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment*, 337(1-3), 91-107.
- Reimann, C., & de Caritat, P. (2017). Establishing geochemical background variation and threshold values for 59 elements in Australian surface soil. *Science of the Total Environment*, 578, 633-648.
- Reimann, C., & Filzmoser, P. (2000). Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environmental geology*, 39(9), 1001-1014.
- Rimmer, D. L., Vizard, C. G., Pless-Mullooli, T., Singleton, I., Air, V. S., & Keatinge, Z. A. (2006). Metal contamination of urban soils in the vicinity of a municipal waste incinerator: one source among many. *Science of the Total Environment*, 356(1-3), 207-216.

- Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Hervé, M.; Puig, A. (1985) Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32°S, latitud sur, Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 24, p. 63-74.
- Rivano, S., Sepúlveda, R., Boric, R., & Espiñeira, D. (1993). Mapa geológico de las Hojas Quillota y Portillo. *Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos, N°73, escala, 1(250.000)*.
- Rothwell, K. A., & Cooke, M. P. (2015). A comparison of methods used to calculate normal background concentrations of potentially toxic elements for urban soil. *Science of the Total Environment*, 532, 625–634.
- Salmanighabeshi, S., Palomo-Marín, M. R., Bernalte, E., Rueda-Holgado, F., Miró-Rodríguez, C., Fadic-Ruiz, X., ... & Pinilla-Gil, E. (2015). Long-term assessment of ecological risk from deposition of elemental pollutants in the vicinity of the industrial area of Puchuncaví-Ventanas, central Chile. *Science of the total environment*, 527, 335-343.
- Sanzano, A. (2019). *Los factores de formación del suelo*. Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado de <https://www.edafologia.org/app/download/7953470476/Genesis+Factores+de+formaci%C3%B3n+del+suelo+2019.pdf?t=1563476238>
- Société Générale de Surveillance (2013). Informe mes de noviembre Red de Monitoreo de Calidad del Aire Complejo Industrial Ventanas. Recuperado de <http://snifa.sma.gob.cl/v2/General/DescargarInformeSeguimiento/28735>
- Société Générale de Surveillance (2014). Informe mes de junio Red de Monitoreo de Calidad del Aire Complejo Industrial Ventanas. Recuperado de <http://snifa.sma.gob.cl/v2/General/DescargarInformeSeguimiento/48875>
- Slavković, L., Škrbić, B., Miljević, N., & Onjia, A. (2004). Principal component analysis of trace elements in industrial soils. *Environmental Chemistry Letters*, 2(2), 105-108.
- Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental geology*, 39(6), 611-627.
- Thomas, H. (1958). Geología de la Cordillera de la Costa entre el valle de La Ligua y la cuesta Barriga (Geology of the Coastal Cordillera between the La Ligua Valley and Barriga Hill). Instituto de Investigaciones Geológicas. *Santiago Bulletin*, 2.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis* (Vol. 2, pp. 131-160).
- Tume, P., González, E., Reyes, F., Fuentes, J. P., Roca, N., Bech, J., & Medina, G. (2019). Sources analysis and health risk assessment of trace elements in urban soils of Hualpen, Chile. *Catena*, 175, 304-316.
- USEPA (US Environmental Protection Agency). (1996). Soil screening guidance: Technical background document. *EPA/540/R-95/128*.

- Vejahati, F., Xu, Z., & Gupta, R. (2010). Trace elements in coal: Associations with coal and minerals and their behavior during coal utilization—A review. *Fuel*, 89(4), 904-911.
- Webb, J. S., & Hawkes, H. E. (1962). *Geochemistry in Mineral Exploration by HE Hawkes and JS Webb*. Harper & Row.
- Wedepohl, K. H. (1995). The Composition of the Continental Crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* Nº 7, v. 59. *ndash*, 1232, 1217.
- Zúñiga, F. B. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados* (Vol. 1). Uady.

ANEXOS

A. Control de Calidad de muestras

Tabla A.1: Control de calidad de bloque 1 de muestras.

Analito/Muestra	Na	Mg	Al	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Zr	Mo	Cd	Sn	Sb	Pb	Hg
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
CC13 original	0,025	0,38	2,3	0,16	1,72	0,45	6,3	130	23,1	736	5,39	11,4	11,5	432	162	44,5	0,5	4,2	3,25	1,03	4,18	1,96	58,9	230
CC13 pulp duplicate	0,027	0,42	2,55	0,19	1,83	0,53	7,6	150	27,8	804	5,92	12,1	12,6	468	168	49,1	0,5	4,6	3,4	1,08	53,5	2,16	64,4	160
MEAN	0,026	0,400	2,425	0,175	1,775	0,490	6,950	140,000	25,450	770,000	5,655	11,750	12,050	450,000	165,000	46,800	0,500	4,400	3,325	1,055	28,840	2,060	61,650	195,000
DESIV	0,001	0,028	0,177	0,021	0,078	0,057	0,919	14,142	3,323	48,083	0,375	0,495	0,778	25,456	4,243	3,253	0,000	0,283	0,106	0,035	34,875	0,141	3,889	49,497
%RSD	5,439	7,071	7,290	12,122	4,382	11,545	13,226	10,102	13,059	6,245	6,627	4,213	6,455	5,657	2,571	6,950	0,000	6,428	3,190	3,351	6,865	6,308	25,383	
CC23 original	0,012	0,12	1,87	0,09	0,39	0,29	7,9	139	23,4	1540	5,02	17,5	8,7	123	94,6	7,2	0,2	3,4	0,38	0,2	1,06	< 0,02	22,1	60
CC23 pulp duplicate	0,015	0,13	2	0,11	0,44	0,33	9,2	152	26,7	1680	5,37	19,2	9,6	133	100	7,7	< 0,1	3,6	0,41	0,24	3,14	< 0,02	23,7	30
MEAN	0,014	0,125	1,935	0,100	0,415	0,310	8,550	145,500	25,050	1610,000	5,195	18,350	9,150	128,000	97,300	7,450	0,200	3,500	0,395	0,220	2,100	22,900	45,000	
DESIV	0,002	0,007	0,092	0,014	0,035	0,028	0,919	9,192	2,333	98,995	0,247	1,202	0,636	7,071	3,818	0,354		0,141	0,021	0,028	1,471	1,131	21,213	
%RSD	15,713	5,657	4,751	14,142	8,519	9,124	10,751	6,318	9,315	6,149	4,764	6,551	6,955	5,524	3,924	4,746		4,041	5,370	12,856	70,037	4,940	47,140	
CQ02 original	0,068	0,38	2,33	0,28	0,2	0,73	9,2	188	36,6	871	6,65	14,3	12,9	89,8	118	8,9	0,2	4,8	0,64	0,15	76,8	< 0,02	19,8	40
CQ02 pulp duplicate	0,064	0,36	2,28	0,26	0,19	0,7	8,5	188	38,1	886	6,99	14,5	13,5	87,9	125	8,9	< 0,1	5	0,68	0,16	5,03	< 0,02	18,1	20
MEAN	0,066	0,370	2,305	0,270	0,195	0,715	8,850	188,000	37,350	878,500	6,820	14,400	13,200	88,850	121,500	8,900	0,200	4,900	0,660	0,155	40,915	18,950	30,000	
DESIV	0,003	0,014	0,035	0,014	0,007	0,021	0,495	0,000	1,061	10,607	0,240	0,141	0,424	1,344	4,950	0,000		0,141	0,028	0,007	50,749	1,202	14,142	
%RSD	4,285	3,822	1,534	5,238	3,626	2,967	5,593	0,000	2,840	1,207	3,525	0,982	3,214	1,512	4,074	0,000		2,886	4,285	4,562	124,035	6,343	47,140	
CQ12 original	0,041	0,33	2,09	0,25	0,19	0,58	9,5	175	35,6	1030	6,11	13,8	11,7	64,3	119	8,4	0,2	4,9	0,51	0,15	1,02	< 0,02	16,5	30
CQ12 pulp duplicate	0,043	0,33	2,23	0,25	0,18	0,56	9,3	176	36	1080	6,67	15,1	12,8	74	134	8,7	0,1	5,4	0,52	0,16	3,67	< 0,02	18,8	30
MEAN	0,042	0,330	2,160	0,250	0,185	0,570	9,400	175,500	35,800	1055,000	6,390	14,450	12,250	69,150	126,500	8,550	0,150	5,150	0,515	0,155	2,345	17,650	30,000	
DESIV	0,001	0,000	0,099	0,000	0,007	0,014	0,141	0,707	0,283	35,355	0,396	0,919	0,778	6,859	10,607	0,212	0,071	0,354	0,007	0,007	1,874	1,626	0,000	
%RSD	3,367	0,000	4,583	0,000	3,822	2,481	1,504	0,403	0,790	3,351	6,197	6,362	6,350	9,919	8,385	2,481	47,140	6,865	1,373	4,562	79,908	9,214	0,000	
GXR-1 cert	0,052	0,22	3,5	0,05	1,380	0,96	2	80	12	852	23,6	8,2	41	1110	760	427	16,6	38	18	3,3	54	122	730	3900
GXR-1 meas	0,034	0,12	0,33	0,03	1,620	0,76	0,1	71	17,6	830	24,7	7,8	38,6	1150	1270	385	15,6	10,4	17,8	2,6	28,2	76,6	648	4130
GXR-1 meas	0,038	0,14	0,34	0,03	1,670	0,83	< 0,1	80	8,5	853	25,6	7,7	42,4	1130	879	439	16,9	10,7	18,2	2,73	25,2	80,9	646	4190
GXR-1 meas	0,04	0,15	0,36	0,03	1,970	0,84	< 0,1	80	7,8	902	26,1	8,3	42,1	1160	882	475	16,7	11,3	19	2,96	27,5	92,9	757	4660
GXR-1	65,4	54,5	9,4	60,0	117,4	79,2	5,0	88,8	146,7	97,4	104,7	95,1	94,1	103,6	167,1	90,2	94,0	27,4	98,9	78,8	52,2	62,8	88,8	105,9
GXR-1	73,1	63,6	9,7	60,0	121,0	86,5	100,0	70,8	100,1	108,5	93,9	103,4	101,8	115,7	102,8	101,8	28,2	101,1	82,7	46,7	66,3	88,5	107,4	
GXR-1	76,9	68,2	10,3	60,0	142,8	87,5	100,0	65,0	105,9	110,6	101,2	102,7	104,5	116,1	111,2	100,6	29,7	105,6	89,7	50,9	76,1	103,7	119,5	
%RSD	8,2	11,2	4,4	0,0	10,8	5,4	6,7	48,4	4,3	2,8	4,1	5,1	1,3	22,3	10,5	4,3	4,2	3,3	6,6	5,8	10,1	9,3	6,7	
GXR-4 cert	0,564	1,66	7,2	4,01	19	1	7,7	87	64	155	3,09	14,6	42	6520	73	98	5,6	186	310	0,9	5,6	4,8	52	
GXR-4 meas	0,116	1,42	2,74	1,75	21,9	0,9	5,9	78	55,7	154	3,13	14,8	41	6690	80,6	96,4	5,1	10,8	333	< 0,01	6,03	1,75	40,3	
GXR-4 meas	0,131	1,58	2,88	1,85	22	0,94	6	88	63,8	153	3,34	15	42,5	6470	82,1	110	5,2	10,8	328	< 0,01	5,41	2,42	40,7	
GXR-4 meas	0,137	1,64	2,83	1,82	24,9	0,88	5,9	85	59,1	161	3,16	15,3	43,6	6910	84,6	115	5,3	11,8	340	< 0,01	5,73	2,82	46,5	
GXR-4	20,6	85,5	38,1	43,6	115,3	90,0	76,6	89,7	80,0	99,4	101,3	101,4	97,6	102,6	110,4	98,4	91,1	5,8	107,4	107,7	36,5	77,5		
GXR-4	23,2	95,2	40,0	46,1	115,8	94,0	77,9	101,1	99,7	98,7	108,1	102,7	101,2	99,2	112,5	112,2	92,9	5,8	105,8	96,6	50,4	78,3		
GXR-4	24,3	98,8	39,3	45,4	131,1	88,0	76,6	97,7	92,3	103,9	102,3	104,8	103,8	106,0	115,9	117,3	94,6	6,3	109,7	102,3	58,8	89,4		
%RSD	8,5	7,4	2,5	2,8	7,4	3,4	1,0	6,1	6,8	2,8	3,5	1,7	3,1	3,3	2,5	9,0	1,9	5,2	1,8	5,4	8,2	8,2		
GXR-6 cert	0,1	0,61	17,7	1,87	0,29	0,18	27,6	186	96	1010	5,58	13,8	27	66	118	330	0,9	110	2,4	1	1,7	3,6	101	
GXR-6 meas	0,061	0,36	6,93	1,13	0,18	0,15	21,3	160	75,3	1040	5,58	13,5	24,2	70,4	132	201	< 0,1	8,2	0,89	0,11	3,29	0,29	92,4	
GXR-6 meas	0,064	0,39	7,28	1,25	0,17	0,17	23,3	176	82,8	1020	5,87	13,6	25,1	71,2	139	244	< 0,1	11,1	1,18	0,09	0,78	0,77	87,7	
GXR-6 meas	0,06	0,43	6,8	1,16	0,2	0,15	21,3	168	81,1	1050	5,89	14,3	25,4	74,7	140	238	< 0,1	9,2	1,06	0,11	0,73	0,67	93,7	
GXR-6	61,0	59,0	39,2	60,4	62,1	83,3	77,2	86,0	78,4	103,0	100,0	97,8	89,6	106,7	111,9	60,9	7,5	37,1	11,0	193,5	8,1	91,5		
GXR-6	64,0	63,9	41,1	66,8	58,6	94,4	84,4	94,6	86,3	101,0	105,2	98,6	93,0	107,9	117,8	73,9	10,1	49,2	9,0	45,9	21,4	86,8		
GXR-6	60,0	70,5	38,4	62,0	69,0	83,3	77,2	90,3	84,5	104,0	105,6	103,6	94,1	113,2	118,6	72,1	8,4	44,2	11,0	42,9	18,6	92,8		
%RSD	3,4	8,9	3,5	5,3	8,3	7,4	5,3	4,8	4,9	1,5	3,0	3,2	2,5	3,2	3,2	10,2	15,5							

Analito/muestra	Na	Mg	Al	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Zr	Mo	Cd	Sn	Sb	Pb	Hg
MQ22 original	0,058	0,44	1,85	0,31	0,29	1,87	5,8	137	32,4	609	4,76	11,2	11,8	230	206	12	0,5	1,7	1,37	0,38	2,54	0,75	44	60
MQ22 pulp duplicate	0,055	0,42	1,77	0,3	0,27	1,76	5,6	139	31	584	4,87	10,6	11,1	216	192	11	0,6	1,8	1,29	0,32	2,11	0,52	33,3	70
MEAN	0,057	0,430	1,810	0,305	0,280	1,815	5,700	138,000	31,700	596,500	4,815	10,900	11,450	223,000	199,000	11,500	0,550	1,750	1,330	0,350	2,325	0,635	38,650	65,000
DESV	0,002	0,014	0,057	0,007	0,014	0,078	0,141	1,414	0,990	17,678	0,078	0,424	0,495	9,899	9,899	0,707	0,071	0,071	0,057	0,042	0,304	0,163	7,566	7,071
%RSD	3,755	3,289	3,125	2,318	5,051	4,285	2,881	1,025	3,123	2,964	1,615	3,822	4,323	4,439	4,975	6,149	12,856	4,041	4,253	12,122	13,078	25,612	19,576	10,879
NC17 original	0,018	0,15	2,63	0,12	1,11	0,29	7,7	132	20,3	1610	4,56	20,3	8,3	229	83,6	24,5	0,6	2,5	1,36	0,34	1,55	0,79	42,5	120
NC17 pulp duplicate	0,017	0,14	2,39	0,1	1,04	0,27	7,5	128	20,4	1620	4,44	20,1	7,9	217	77,1	23	0,4	2,4	1,42	0,31	3,04	0,91	39,9	150
MEAN	0,018	0,145	2,510	0,110	1,075	0,280	7,600	130,000	20,350	1615,000	4,500	20,200	8,100	223,000	80,350	23,750	0,500	2,450	1,390	0,325	2,295	0,850	41,200	135,000
DESV	0,001	0,007	0,170	0,014	0,049	0,014	0,141	2,828	0,071	7,071	0,085	0,141	0,283	8,485	4,596	1,061	0,141	0,071	0,042	0,021	1,054	0,085	1,838	21,213
%RSD	4,041	4,877	6,761	12,856	4,604	5,051	1,861	2,176	0,347	0,438	1,886	0,700	3,492	3,805	5,720	4,466	28,284	2,886	3,052	6,527	45,908	9,983	4,462	15,713
NQ02 original	0,044	0,49	2,36	0,39	0,16	0,49	8,6	269	50,1	1260	8,94	18,3	14,9	52,8	137	9,6	< 0,1	4,1	0,99	0,13	1,1	< 0,02	18,2	20
NQ02 pulp duplicate	0,041	0,47	2,14	0,36	0,16	0,45	8,2	259	50,2	1210	8,85	18,3	14,4	50,9	136	8,4	< 0,1	3,6	0,85	0,11	0,88	< 0,02	18,1	50
MEAN	0,043	0,480	2,250	0,375	0,160	0,470	8,400	264,000	50,150	1235,000	8,895	18,300	14,650	51,850	136,500	9,000		3,850	0,920	0,120	0,990		18,150	35,000
DESV	0,002	0,014	0,156	0,021	0,000	0,028	0,283	7,071	0,071	35,355	0,064	0,000	0,354	1,344	0,707	0,849		0,354	0,099	0,014	0,156		0,071	21,213
%RSD	4,991	2,946	6,914	5,657	0,000	6,018	3,367	2,678	0,141	2,863	0,715	0,000	2,413	2,591	0,518	9,428		9,183	10,760	11,785	15,713		0,390	60,609
OC10 original	0,036	0,44	2,5	0,19	0,61	0,62	8,2	175	33,1	858	6,6	12,6	12,7	173	147	21,4	0,1	4,7	1,08	0,33	1,13	0,79	28,9	50
OC10 pulp duplicate	0,037	0,46	2,48	0,2	0,64	0,68	8,4	177	33,8	876	6,77	12,7	12,9	177	152	21,8	< 0,1	5,5	1,18	0,34	1,38	0,87	28,4	50
MEAN	0,037	0,450	2,490	0,195	0,625	0,650	8,300	176,000	33,450	867,000	6,685	12,650	12,800	175,000	149,500	21,600	0,100	5,100	1,130	0,335	1,255	0,830	28,650	50,000
DESV	0,001	0,014	0,014	0,007	0,021	0,042	0,141	1,414	0,495	12,728	0,120	0,071	0,141	2,828	3,536	0,283		0,566	0,071	0,007	0,177	0,057	0,354	0,000
%RSD	1,937	3,143	0,568	3,626	3,394	6,527	1,704	0,804	1,480	1,468	1,798	0,559	1,105	1,616	2,365	1,309		11,092	6,258	2,111	14,086	6,815	1,234	0,000
OC20 original	0,105	0,74	1,56	0,11	0,09	0,99	5,2	97	14	564	3,98	11,8	9,4	24,7	87,6	10,4	< 0,1	5,7	0,13	0,04	0,68	< 0,02	13,2	30
OC20 pulp duplicate	0,101	0,72	1,56	0,11	0,08	0,9	4,8	87	12,7	517	3,6	11,1	9,1	24,7	90,3	12,5	< 0,1	6,8	0,13	0,06	1,67	< 0,02	12,3	30
MEAN	0,103	0,730	1,560	0,110	0,085	0,945	5,000	92,000	13,350	540,500	3,790	11,450	9,250	24,700	88,950	11,450		6,250	0,130	0,050	1,175		12,750	30,000
DESV	0,003	0,014	0,000	0,000	0,007	0,064	0,283	7,071	0,919	33,234	0,269	0,495	0,212	0,000	1,909	1,485		0,778	0,000	0,014	0,700		0,636	0,000
%RSD	2,746	1,937	0,000	0,000	8,319	6,734	5,657	7,686	6,886	6,149	7,090	4,323	2,293	0,000	2,146	12,969		12,445	0,000	28,284	59,578		4,991	0,000
OL17 original	0,04	0,43	1,85	0,16	0,8	0,63	7,7	203	37,8	682	6,8	13	13,9	306	158	27,4	0,9	4,6	1,79	0,54	2,29	1,82	42,6	90
OL17 pulp duplicate	0,044	0,46	2,03	0,17	0,79	0,68	8	205	37,5	687	6,8	13	14,4	311	166	29,3	0,9	5,3	1,79	0,54	2,04	1,94	40,9	70
MEAN	0,042	0,445	1,940	0,165	0,795	0,655	7,850	204,000	37,650	684,500	6,800	13,000	14,150	308,500	162,000	28,350	0,900	4,950	1,790	0,540	2,165	1,880	41,750	80,000
DESV	0,003	0,021	0,127	0,007	0,035	0,212	1,414	0,212	3,536	0,000	0,000	0,354	3,536	5,657	1,344	0,000	0,495	0,000	0,000	0,177	0,085	1,202	14,142	14,142
%RSD	6,734	4,767	6,561	4,285	0,889	5,398	2,702	0,693	0,563	0,517	0,000	0,000	2,499	1,146	3,492	4,739	0,000	9,999	0,000	0,000	8,165	4,513	2,879	17,678
OQ08 original	0,042	0,54	2,1	0,38	0,82	1,68	7,5	137	30,7	733	4,81	15,1	13,6	340	266	16,1	1,5	1,4	1,51	0,35	4,62	1,45	47,1	80
OQ08 pulp duplicate	0,044	0,54	2,12	0,36	0,86	1,6	7,3	136	30,2	703	4,88	14,9	13,4	340	260	16	1,7	1,5	1,54	0,41	4,34	1,5	51,7	60
MEAN	0,043	0,540	2,110	0,370	0,840	1,640	7,400	136,500	30,450	718,000	4,845	15,000	13,500	340,000	263,000	16,050	1,600	1,450	1,525	0,380	6,260	1,475	49,400	70,000
DESV	0,001	0,000	0,014	0,014	0,028	0,057	0,141	0,707	0,354	21,213	0,049	0,141	0,141	0,000	4,243	0,071	0,141	0,071	0,021	0,042	2,319	0,035	3,253	14,142
%RSD	3,289	0,000	0,670	3,822	3,367	3,449	1,911	0,518	1,161	2,954	1,022	0,943	1,048	0,000	1,613	0,441	8,839	4,877	1,391	11,165	37,050	2,397	6,584	20,203
OREAS 13b cert							8650					75	2250	2300	133	57			9					
OREAS 13b meas	0,523	0,77	2,77	0,46	2,33	2,15	5,1	196	473	346	4,36	54,4	2570	2690	70,8	53,2	2,5	7,3	9,01	0,12	4,65	0,75	15,6	
OREAS 13b meas	0,539	0,78	2,77	0,49	2,26	2,33	4,9	192	459	316	4,13	49,1	2150	2270	62,9	57,7	2,3	8	8,53	0,09	3,87	0,75	14,5	
OREAS 13b meas	0,526	0,8	2,58	0,44	2,56	2,08	4,5	180	426	317	3,93	49,1	2170	2320	66,2	58	2,4	8,3	8,96	0,11	3,98	0,97	17,2	
OREAS 13b									5,5		72,5	114,2	117,0	53,2	93,3				100,1					
OREAS 13b									5,3		65,5	95,6	98,7	47,3	101,2				94,8					
OREAS 13b									4,9		65,5	96,4	100,9	49,8	101,8				99,6					
%RSD									5,3		6,0	10,3	9,5	6,0	4,8				3,0					
SP02 original	0,029	0,44	1,58	0,38	0,87	0,79	6,7	105	27,6	858	3,92	13,1	11,4	578	193	15,8	1,2	1,9	3,43	0,48	1,96	1,34	63,4	180
SP02 pulp duplicate	0,032	0,47	1,7	0,39	0,72	0,82	6,7	111	31,7	889	4,19	14	12,4	616	197	15,3	1	2	3,04	0,52	2,01	1,39	63,7	200
MEAN	0,031	0,455	1,640	0,385	0,795	0,805	6,700	108,000	29,650	873,500	4,055	13,550	11,900	597,000	195,000	15,550	1,100	1,950	3,235	0,500	1,985	1,365	63,550	190,000
DESV	0,002	0,021	0,085	0,007	0,106	0,021	0,000	4,243	2,899	21,920	0,191	0,636	0,707	26,870	2,828	0,354	0,141	0,071	0,276	0,028	0,035	0,212	14,142	14,142
%RSD	6,955	4,662	5,174	1,837	13,342	2,635	0,000																	

Tabla A.2: Control de calidad de bloque 2 de muestras.

Analito/Muestra	Na	Mg	Al	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Zr	Mo	Cd	Sn	Sb	Pb	Hg
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
bk	< 0.001	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.01	< 0.1	< 1	< 0.5	< 1	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.02	< 0.01	< 10
CC38 original	0,025	0,31	2,37	0,17	0,74	0,58	10,2	253	50,1	1380	8,3	16,3	14,4	138	163	23,9	0,3	5,1	1,55	0,44	1,33	0,77	35,1	60
CC38 pulp duplicate	0,024	0,300	2,310	0,170	0,750	0,590	10,400	258,000	50,900	1410,000	8,540	16,500	15,000	139,000	199,000	25,700	0,400	5,400	1,600	0,460	1,420	0,890	36,600	60,000
%RSD	2,886	2,318	1,813	0,000	0,949	1,209	1,373	1,384	1,120	1,521	2,016	0,862	2,886	0,511	14,064	5,132	20,203	4,041	2,245	3,143	4,628	10,223	2,959	0,000
CC56 original	0,046	0,460	2,290	0,180	1,060	0,700	8,300	154,000	31,200	735,000	5,830	12,200	13,000	248,000	139,000	46,700	0,500	8,000	2,090	0,510	2,030	1,470	43,400	50,000
CC56 pulp duplicate	0,048	0,5	2,51	0,19	1,14	0,75	8,6	166	31,5	798	6,19	13,1	13,8	265	146	49,8	0,5	8,4	2,06	0,61	2,21	2,09	46,9	80
%RSD	3,009	5,893	6,482	3,822	5,143	4,877	2,510	5,303	0,677	5,812	4,236	5,031	4,222	4,686	3,474	4,543	0,000	3,449	1,022	12,627	6,004	24,630	5,481	32,636
CC66 original	0,019	0,750	2,390	0,550	0,720	0,300	13,500	176,000	21,600	2090,000	7,380	22,600	10,900	175,000	162,000	13,300	0,600	5,000	0,930	0,290	1,480	0,090	28,500	60,000
CC66 pulp duplicate	0,020	0,750	2,440	0,550	0,720	0,300	13,400	176,000	21,300	2060,000	7,390	22,500	10,900	174,000	160,000	13,800	0,500	5,300	1,050	0,310	1,460	0,230	29,100	50,000
%RSD	3,626	0,000	1,464	0,000	0,000	0,526	0,000	0,989	1,022	0,096	0,314	0,000	0,405	0,878	2,609	12,856	4,119	8,571	4,714	0,962	61,872	1,473	12,856	
Fm.H 02 original	0,493	0,98	2,68	0,23	0,12	1,48	13,7	190	4,15	1170	6,71	17,4	18,5	47,8	183	9,7	0,7	4,2	1,7	1,19	1,08	0,62	24,3	30
Fm.H 02 pulp duplicate	0,488	0,95	2,73	0,23	0,12	1,47	13,7	191	4,2	1170	6,74	17,2	18,4	48,3	176	9,2	0,8	3,4	1,29	0,19	1,04	0,6	20,9	10
%RSD	0,721	2,198	1,307	0,000	0,000	0,479	0,000	0,371	0,847	0,000	0,315	0,817	0,383	0,736	2,758	3,741	9,428	14,886	4,253	0,000	2,668	2,318	10,638	70,711
GXR-1 cert	0,052	0,220	3,500	0,050	1380,000	0,960	2,000	80,000	12,000	852,000	23,600	8,200	41,000	1110,000	760,000	427,000	16,600	38,000	18,000	3,300	54,000	122,000	730,000	3900,000
GXR-1 meas	0,035	0,130	0,330	0,040	1550,000	0,850	1,000	79,000	9,100	909,000	25,400	7,500	36,900	1070,000	766,000	424,000	16,600	9,700	18,100	2,510	23,700	67,900	615,000	3790,000
GXR-1 meas	0,038	0,16	0,36	0,04	1740	0,99	0,5	89	10,1	965	28,2	8,3	44,2	1200	921	455	16	11	19,4	2,62	24,2	78,6	679	3870
GXR-1 meas	0,036	0,15	0,36	0,04	1740	0,94	0,2	86	10,6	928	26,4	7,9	43,9	1130	904	461	16,1	11,2	19	2,51	24,4	78,9	661	3800
GXR-1 meas	0,032	0,160	0,350	0,040	1840,000	0,960	1,600	90,000	8,000	950,000	26,600	8,200	45,000	1210,000	1020,000	493,000	17,600	12,300	19,700	2,660	23,600	83,100	683,000	4220,000
GXR-1	67,308	59,091	9,429	80,000	112,319	88,542	50,000	98,750	75,833	106,690	107,627	91,463	90,000	96,396	100,789	99,297	100,000	25,526	100,556	76,061	43,889	55,656	84,247	97,179
GXR-1	73,077	72,727	10,286	80,000	126,087	103,125	25,000	111,250	84,167	113,263	119,492	101,220	107,805	108,108	121,184	106,557	96,386	28,947	107,778	79,394	44,815	64,426	93,014	99,231
GXR-1	69,231	68,182	10,286	80,000	126,087	97,917	10,000	107,500	88,333	108,920	111,864	96,341	107,073	101,802	118,947	107,963	96,988	29,474	105,556	76,061	45,385	64,672	90,548	97,436
GXR-1	61,538	72,727	10,000	80,000	133,333	100,000	80,000	112,500	66,667	111,502	112,712	109,000	109,756	109,000	134,211	115,457	106,024	32,368	109,444	80,606	43,704	68,115	93,562	108,205
%RSD	7,092	9,428	4,041	0,000	7,057	6,447		5,775	12,173	2,622	4,349	4,507	8,852	5,684	11,580	6,171	4,416	9,648	3,649	2,983	1,611	8,407	4,727	5,182
GXR-4 cert	0,564	1,626	7,2	4,01	19	1	7,7	64	155	3,09	14,6	42	6520	73	98	5,6	186	310	0,9	5,6	4,8	5,2	48	52
GXR-4 meas	0,1	1,4	2,4	1,5	22,0	0,8	6,2	76,0	51,8	130,0	2,8	12,0	34,6	5620,0	64,0	103,0	5,5	10,3	316,0	< 0,01	5,7	2,3	44,6	
GXR-4 meas	0,1	1,8	3,0	1,9	22,9	1,0	6,5	92,0	60,4	162,0	3,4	15,0	44,2	6620,0	94,2	104,0	4,8	10,9	326,0	0,0	5,2	2,2	45,7	
GXR-4 meas	0,1	1,7	3,0	1,8	25,3	1,0	6,2	92,0	59,9	164,0	3,4	15,0	45,2	6680,0	86,5	114,0	4,6	11,2	337,0	0,1	5,3	1,9	46,2	
GXR-4 meas	0,1	1,5	2,6	1,7	24,1	1,0	7,2	92,0	58,1	157,0	3,2	14,5	44,5	6780,0	92,3	120,0	6,1	12,4	337,0	< 0,01	5,5	3,1	43,9	
GXR-4	18,972	86,747	33,611	36,160	115,789	75,000	80,519	87,356	80,938	83,871	89,644	82,192	82,381	86,196	87,671	105,102	98,214	5,538	101,935		102,500	48,125	85,769	
GXR-4	22,872	109,639	42,222	46,384	120,526	103,000	84,416	105,747	94,375	104,516	110,356	102,740	105,238	101,534	129,041	106,122	85,714	5,860	105,161	2,222	93,214	44,792	87,885	
GXR-4	22,695	101,205	41,944	44,888	133,158	102,000	80,519	105,747	93,594	105,806	109,385	102,740	107,619	102,454	118,493	116,327	82,143	6,022	108,710	8,889	93,750	38,958	88,846	
GXR-4	19,149	92,771	36,528	41,895	126,842	100,000	93,506	105,747	90,781	101,290	104,207	99,315	105,952	103,988	126,438	122,449	108,929	6,667	108,710		97,679	64,792	84,423	
%RSD	10,3	10,2	10,9	10,7	6,1	14,1	7,2	9,1	6,9	10,2	9,2	10,2	12,0	8,4	16,5	7,4	13,1	7,9	3,1	4,4	22,5	2,3		
GXR-6 cert	0,1	0,6	17,7	1,9	0,3	0,2	27,6	186,0	96,0	1010,0	5,6	13,8	27,0	66,0	118,0	330,0	0,9	110,0	2,4	1,0	1,7	3,6	101,0	
GXR-6 meas	0,1	0,4	10,0	1,0	0,2	0,2	21,2	166,0	77,5	963,0	5,2	11,7	20,9	58,0	113,0	228,0	0,5	9,3	1,1	0,1	1,1	0,8	88,7	
GXR-6 meas	0,1	0,4	6,5	1,1	0,2	0,2	21,4	161,0	76,1	1010,0	5,5	12,7	24,3	71,6	136,0	235,0	0,2	10,6	1,5	0,1	0,7	0,8	88,0	
GXR-6 meas	0,065	0,43	10	1,25	0,19	0,2	23,8	176	84,5	1150	6,14	14,2	27,1	80,1	149	245	< 0,1	9,1	1,35	0,07	0,77	0,6	92,2	
GXR-6 meas	0,056	0,41																						

Analito/Muestra	Na	Mg	Al	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Zr	Mo	Cd	Sn	Sb	Pb	Hg
NC35 original	0,02	0,22	2,68	0,11	0,56	0,55	11,6	139	49,9	1960	5,06	20	22,7	130	80,9	11,7	0,5	4,7	0,68	0,27	1,13	0,04	27	90
NC35 pulp duplicate	0,022	0,220	2,720	0,110	0,590	0,550	11,900	141,000	51,000	2040,000	5,250	21,400	24,300	136,000	82,500	12,300	0,600	4,700	0,770	0,260	1,120	0,110	26,900	70,000
%RSD	6,734	0,000	1,048	0,000	3,689	0,000	1,805	1,010	1,542	2,828	2,606	4,782	4,814	3,190	1,385	3,536	12,856	0,000	8,778	2,668	0,629	0,262	17,678	
OC34 original	0,018	0,160	2,140	0,120	0,400	0,460	9,600	174,000	37,100	1980,000	6,230	19,200	12,200	110,000	105,000	10,900	0,400	3,700	0,910	0,250	1,200	0,170	71,600	100,000
OC34 pulp duplicate	0,02	0,17	2,32	0,12	0,4	0,45	9,5	173	35,3	1890	5,95	18,7	12	112	106	10,8	0,3	3,6	0,85	0,28	1,22	0,17	23,3	80
%RSD	7,443	4,285	5,708	0,000	0,000	1,554	0,740	0,408	3,516	3,289	3,251	1,866	1,169	1,274	0,670	0,652	20,203	1,937	4,821	8,005	1,169	0,000	71,977	15,713
OC44 original	0,118	0,480	1,510	0,170	0,150	0,820	8,400	152,000	36,200	1090,000	4,890	16,000	12,000	82,300	92,500	7,100	0,200	8,300	0,660	0,190	1,230	< 0,02	21,500	50,000
OC44 pulp duplicate	0,116	0,460	1,490	0,160	0,140	0,750	7,700	140,000	32,800	1020,000	4,670	15,600	11,800	88,600	95,900	7,000	0,500	8,100	0,630	0,180	0,790	< 0,02	20,700	70,000
%RSD	1,209	3,009	0,943	4,285	4,877	6,305	6,149	5,812	6,969	4,692	3,254	1,790	1,188	5,213	2,552	1,003	60,609	1,725	3,289	3,822	30,805	2,681	23,570	
OH10 original	0,062	0,55	1,71	0,12	0,16	1,03	8,1	141	21,7	643	4,95	11,3	11,1	39,6	111	14,3	0,9	6,5	1,02	0,1	0,87	0,65	15	110
OH10 pulp duplicate	0,06	0,56	1,77	0,13	0,16	1,17	8,6	143	25	678	5,68	12	11,9	36,1	112	14,9	0,9	7,5	1,01	0,1	0,93	0,75	14,4	90
%RSD	2,318	1,274	2,438	5,657	0,000	9,000	4,234	0,996	9,993	3,747	9,712	4,249	4,919	6,539	0,634	2,906	0,000	10,102	0,697	0,000	4,714	10,102	2,886	14,142
OREAS 13b cert										8650,000				75,000	2250,000	2300,000	133,000		57,000					
OREAS 13b meas	0,521	0,890	2,910	0,540	2,260	2,540	6,100	215,000	486,000	345,000	4,590	50,800	2340,000	2390,000	64,400	60,100	2,900	7,100	9,070	0,100	3,630	0,630	15,600	
OREAS 13b meas	0,442	0,75	2,34	0,38	2,49	2,05	4,7	157	351	284	3,51	44,8	1980	2200	69,8	62,8	2,8	9,5	9,55	0,13	4,06	0,9	17,6	
OREAS 13b meas	0,502	0,79	2,72	0,46	2,67	2,37	4,7	175	405	341	4,23	50,8	2300	2380	70,1	59,1	2	6,9	9,56	0,09	3,87	0,63	16,9	
OREAS 13b meas	0,479	0,810	2,720	0,460	2,590	2,510	6,300	175,000	418,000	349,000	4,230	52,000	2330,000	2480,000	77,500	63,900	3,300	9,300	9,930	0,130	4,080	1,610	14,900	
OREAS 13b									5,618			67,733	104,000	103,913	48,421	105,439								
OREAS 13b									4,058			59,733	88,000	95,652	52,481	110,175								
OREAS 13b									4,682			67,733	102,222	103,478	52,707	103,684								
OREAS 13b									4,832			69,333	103,556	107,826	58,271	112,105								
%RSD	6,994	7,269	8,946	14,200	7,099	9,472	15,961	13,582	13,377	9,302	10,942	6,552	7,710	4,965	7,637	3,658	19,806	16,957	3,700	18,325	5,353		7,529	
OV09 original	0,060	0,410	2,840	0,250	0,730	0,820	8,800	140,000	34,000	602,000	5,210	12,000	13,000	683,000	304,000	25,300	1,000	4,400	2,770	0,950	2,770	0,780	61,900	110,000
OV09 pulp duplicate	0,049	0,340	2,310	0,200	0,710	0,690	7,700	128,000	31,300	573,000	4,840	11,400	11,800	607,000	269,000	23,300	0,900	4,300	2,330	0,920	2,430	1,000	68,800	120,000
%RSD	14,272	13,199	14,554	15,713	1,964	12,175	9,428	6,332	5,847	3,490	5,207	3,626	6,843	8,332	8,638	5,820	7,443	1,626	12,201	2,269	9,247	17,479	7,466	6,149

Tabla A.3: Control de calidad de bloque 3 y 4 de muestras.

Analito/Muestra	Na	Mg	Al	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Zr	Mo	Cd	Sn	Sb	Pb	Hg
bk	< 0,001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,5	< 1	< 0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,02	< 0,01	< 10
bk	< 0,001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,5	< 1	< 0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,02	< 0,01	< 10
bk	< 0,001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,5	< 1	< 0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,02	< 0,01	< 10
LV F C 30 original	0,019	0,19	2,08	0,12	0,45	0,32	5,9	72	22,5	733	3,14	10,7	14,3	91,3	47,7	10,6	0,7	1,5	2,21	0,16	1,33	0,52	23,6	90
LV F C 30 pulp duplicate	0,016	0,2	2,24	0,12	0,47	0,32	6	74	22,9	753	3,15	10,9	14,4	93,3	48,3	10,9	0,7	1,3	2,37	0,13	1,22	0,57	23,7	100
%RSD	12,122	3,626	5,238	0,000	3,074	0,000	1,188	1,937	1,246	1,903	0,225	1,309	0,493	1,532	0,884	1,973	0,000	10,102	4,940	14,630	6,101	6,487	0,299	7,443
C F B 45 original	0,017	0,360	2,270	0,050	0,130	0,510	9,500	82,000	26,800	545,000	2,700	11,200	12,800	35,000	43,400	1,800	0,200	2,600	0,690	0,060	1,270	< 0,02	8,510	< 10
C F B 45 pulp duplicate	0,016	0,350	2,240	0,050	0,130	0,520	9,400	81,000	25,900	531,000	2,640	10,900	12,700	33,200	40,600	1,800	< 0,1	2,900	0,630	0,050	1,250	< 0,02	10,800	< 10
%RSD	4,285	1,992	0,941	0,000	0,000	1,373	0,748	0,868	2,415	1,840	1,589	1,920	0,555	3,733	4,714	0,000		7,714	6,428	12,856	1,122		16,771	
L F B 30 original	0,030	0,530	2,490	0,140	0,190	0,730	8,900	277,000	54,000	1230,000	9,020	18,400	16,900	38,000	153,000	16,800	0,300	2,300	1,010	0,160	1,160	0,630	23,300	20,000
L F B 30 pulp duplicate	0,026	0,500	2,290	0,130	0,200	0,710	8,500	277,000	53,300	1110,000	8,910	17,700	16,900	36,900	156,000	16,600	0,300	2,200	1,030	0,140	1,200	0,650	22,500	40,000
%RSD	10,102	4,119	5,917	5,238	3,626	1,964	3,251	0,000	0,923	7,252	0,868	2,742	0,000	2,077	1,373	0,847	0,000	3,143	1,386	9,428	2,397	2,210	2,470	47,140
L F E 45 original	0,020	0,470	2,010	0,110	0,200	0,730	8,800	395,000	78,000	1250,000	12,300	19,400	19,600	33,300	183,000	13,500	0,300	2,600	1,220	0,090	1,270	0,790	21,600	30,000
L F E 45 pulp duplicate	0,026	0,51	2,41	0,13	0,21	0,84	9,2	373	70,9	1320	11,4	19,5	18,7	35,3	175	14,2	0,2	2,6	1,19	0,1	1,33	0,74	22,7	60
%RSD	18,446	5,772	12,798	11,785	3,449	9,909	3,143	4,051	6,743	3,852	5,370	0,364	3,323	4,123	3,160	3,574	28,284	0,000	1,760	7,443	3,264	4,622	3,512	47,140
bk	< 0,001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	< 0,1	< 1	< 0,5	< 1	< 0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,02	3,350	< 10
MR09 original	0,033	0,35	2,57	0,14	0,69	0,52	9,9	160	33,7	807	5,5	15,6	12,9	340	112	17,2	< 0,1	5,3	1,41	0,41	1,6	1,11	32,5	50
MR09 pulp duplicate	0,034	0,360	2,640	0,140	0,700	0,520	9,900	161,000	34,900	834,000	5,680	16,000	13,300	351,000	112,000	17,100	< 0,1	5,700	1,220	0,410	1,590	1,000	33,000	50,000
%RSD	2,111	1,992	1,900	0,000	1,017	0,000	0,000	0,441	2,474	2,327	2,277	1,790	2,159	2,251	0,000	0,412		5,143	10,217	0,000	0,443	7,373	1,080	0,000

</

B. Análisis ICP-MS

Tabla B.1: Concentraciones químicas de los 19 elementos seleccionados para el estudio mediante análisis de ICP-MS.

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
CC01	0,019	0,25	0,17	0,83	0,55	6,8	169	30	901	6,05	11,2	10,2	163	121	24	0,3	2	0,56	36,4
CC02	0,019	0,14	0,1	0,71	0,33	5,5	114	20,6	908	4,15	11,3	7	147	84,5	17,5	0,3	1,05	0,38	34,1
CC03	0,019	0,22	0,2	0,68	0,57	8,7	188	34,7	1310	6,63	14	12,2	171	138	22,6	0,2	1,8	0,48	27,8
CC04	0,029	0,43	0,19	1,71	0,49	8,7	142	27,7	891	6,28	15,5	14,8	513	224	48,6	0,6	7,76	0,81	59,8
CC05	0,028	0,44	0,17	0,59	0,49	8,7	177	31,8	960	6,73	14,3	13,5	262	188	37,8	0,4	2,67	0,93	28,3
CC06	0,03	0,41	0,14	2,61	0,48	6,3	141	24,4	672	5,6	11,7	12,5	1170	175	115	0,9	8,91	1,52	90,3
CC07	0,032	0,47	0,14	0,82	0,6	7	187	31,5	832	7,09	13,3	14	330	160	32,5	0,3	2,13	0,73	37
CC08	0,033	0,35	0,23	0,34	0,66	9,1	152	38,6	1100	5,61	15,8	19,3	158	147	14,2	0,2	2,41	0,3	27
CC09	0,024	0,21	0,09	0,28	0,5	10	268	45,4	1120	8,31	16,3	12,2	64,1	117	8,5	0,05	0,73	0,18	21,3
CC10	0,022	0,14	0,08	0,75	0,43	8,1	145	29,4	1350	5,51	13,8	10,6	123	106	15,8	0,05	0,95	0,33	29,8
CC11	0,033	0,25	0,17	0,13	0,4	8	132	23,8	981	4,81	13,3	9,1	49,1	75,6	4,3	0,05	0,24	0,11	17,8
CC12	0,022	0,17	0,11	0,58	0,46	8,1	171	32,1	1060	5,43	15,4	12	116	110	13,6	0,1	0,88	0,35	27,2
CC13	0,026	0,4	0,17	1,77	0,49	6,9	140	25,4	770	5,66	11,7	12	450	165	46,8	0,5	3,33	1,06	61,7
CC14	0,077	0,46	0,17	1,62	0,79	6	119	132	686	6,14	12,6	13	494	147	54,8	0,4	3,27	1,08	59,4
CC15	0,027	0,33	0,11	0,16	0,76	6,2	221	39	614	7,89	11,2	11,1	65,1	103	7,6	0,1	0,64	0,21	15,2
CC16	0,043	0,45	0,16	1,44	0,69	7,8	259	47,7	952	8,73	14,9	16,1	352	183	45,8	0,3	2,65	0,85	50
CC17	0,037	0,4	0,31	0,25	0,83	6,9	100	20,2	773	4,2	11,4	10,8	90	126	9,7	0,2	0,62	0,15	16,5
CC18	0,03	0,31	0,28	0,96	0,61	6,5	104	20,9	522	3,46	10,4	7,5	174	98,2	24,5	0,6	1,17	0,54	32,3
CC19	0,019	0,18	0,16	0,37	0,41	5,9	101	21,6	719	3,55	11,4	7,8	83,7	59,3	9,9	0,1	0,55	0,23	18,2
CC20	0,033	0,23	0,08	0,6	0,55	11,1	223	48	1120	7,4	18,9	15	113	118	13,4	0,2	0,83	0,36	29
CC21	0,015	0,14	0,12	0,44	0,38	7,4	114	19,7	1150	4,2	15,2	7,9	129	73,8	9,5	0,05	0,54	0,26	22,3
CC22	0,023	0,21	0,07	0,91	0,37	9,3	119	23,2	664	4,77	13,9	8,8	258	88,3	21,2	0,2	1,17	0,42	36,6
CC23	0,013	0,13	0,1	0,42	0,31	8,5	145	25	1610	5,19	18,4	9,1	128	97,5	7,5	0,05	0,39	0,22	22,9
CC24	0,019	0,14	0,15	0,44	0,24	8,7	121	19,7	1690	4,74	18,4	9,8	143	79,6	9,9	0,4	0,56	0,23	23,4
CC25	0,019	0,14	0,07	0,58	0,32	5	118	22,2	558	4,18	10,6	7,2	135	83,5	12,1	0,05	0,78	0,28	25,1
CC26	0,017	0,14	0,07	0,36	0,37	6,8	142	29,2	987	4,92	15,1	9,5	103	82,2	8,8	0,05	0,54	0,28	17,7
CC27	0,017	0,44	0,32	0,35	0,56	7,2	123	18	733	4,93	15,2	8,4	166	71,6	8,5	0,1	0,65	0,21	27,2
CC28	0,043	0,56	0,2	0,23	0,72	8	89	21,3	432	3,6	9,4	11,9	88,5	87,7	8,5	0,2	0,97	0,34	16,3
CC29	0,019	0,27	0,06	0,4	0,36	6,7	111	23,9	808	4,15	15	7,7	276	94,8	8,8	0,5	1,09	0,54	23,8
CC30	0,017	0,11	0,08	0,47	0,24	7,9	113	21,5	1410	4,65	16,2	8,2	107	54,5	8,6	0,3	0,44	0,15	46,6
CC31	0,021	0,49	0,25	0,52	0,58	9,8	149	21,4	1310	5,89	19,5	10,2	188	123	10,4	0,2	0,64	0,29	24,6
CC32	0,014	0,11	0,09	0,58	0,25	7,3	111	17,3	931	4,18	12,9	6,7	136	66,6	11,3	0,3	0,66	0,24	24,5
CC33	0,012	0,15	0,1	0,84	0,28	8,9	113	16	1560	4,43	18,1	8,4	162	84,8	11,7	0,4	0,65	0,31	30
CC34	0,022	0,17	0,09	0,73	0,38	6,4	139	28,2	823	4,86	13,1	8,9	195	99,3	14,5	0,2	0,97	0,34	28,4
CC35	0,032	0,26	0,14	0,36	0,56	8,9	225	41,9	1240	7,11	15,8	12,2	72,1	120	11,1	0,05	0,73	0,21	23
CC36	0,022	0,27	0,13	0,56	0,48	11,4	217	44,5	1370	7,11	16,5	14,6	95,1	139	13,5	0,1	1,05	0,28	26,2
CC37	0,022	0,31	0,2	0,49	0,59	9,3	188	36,2	1250	6,58	14,8	12,5	105	142	17,6	0,3	1,26	0,32	26,3
CC38	0,025	0,3	0,17	0,75	0,59	10,3	256	50,5	1400	8,42	16,4	14,7	139	181	24,8	0,05	1,58	0,45	35,8
CC39	0,028	0,4	0,16	0,48	0,67	11,3	187	36,9	1260	6,7	15,9	14	97,2	140	16,6	0,05	1,17	0,28	28,6
CC40	0,078	0,59	0,15	0,15	1,13	7,2	161	29,1	712	5,86	12,2	10,8	54,8	112	11,5	0,05	1,08	0,1	17,6
CC41	0,018	0,19	0,06	0,54	0,49	9,3	319	62,3	1120	9,35	18	14,9	84	129	12	0,05	1,2	0,25	29,8
CC42	0,019	0,22	0,1	1,05	0,51	9,3	111	33,9	1700	3,96	20,1	13	192	87,7	20,9	0,1	1,67	0,37	41,6
CC43	0,014	0,11	0,07	0,59	0,38	6,1	135	30,1	750	4,53	11,5	7,2	107	63,9	15,1	0,3	1,41	0,25	26,3

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
CC44	0,017	0,14	0,09	0,85	0,47	6,9	197	37,5	915	6,18	13,1	9,1	170	100	19,4	1,5	1,7	0,41	35,7
CC45	0,019	0,19	0,09	0,81	0,51	5,4	114	23,5	499	3,9	7,9	6	150	79,5	20,4	0,1	1,19	0,37	33,7
CC46	0,093	0,44	0,21	0,73	0,81	8,9	121	23,1	1450	6,17	15,2	12,2	253	133	41,6	0,05	3,26	0,69	39
CC47	0,026	0,35	0,19	1,39	0,63	8,2	178	36,1	804	6,45	12,5	11,9	262	199	36,3	0,05	2,35	0,7	48,3
CC48	0,09	0,45	0,1	0,35	0,86	4,6	57	36,5	377	5,2	8,8	31,8	968	167	22	0,05	8,58	0,5	18,7
CC49	0,038	0,53	0,14	0,89	0,72	7	162	33,7	712	6,25	12,2	13,5	245	149	33,3	0,5	1,97	0,56	40
CC50	0,033	0,53	0,15	1,02	0,83	7,8	224	41,3	826	8,22	13,7	15,2	273	162	38,9	0,05	1,79	0,53	37,6
CC51	0,048	0,54	0,17	1,02	0,78	8,2	189	36,6	960	7,04	13,9	14,9	273	159	35,9	0,2	2,05	0,52	39,5
CC52	0,047	0,67	0,22	1,13	0,75	8,3	157	31,4	851	6,16	13,8	13,9	274	161	25,4	0,05	1,76	0,54	38,3
CC53	0,034	0,48	0,16	0,3	0,9	8,7	287	57	904	9,8	14,4	15,9	72,2	169	12,7	3,7	1,13	0,14	22
CC54	0,039	0,55	0,18	0,49	0,8	6,6	142	26,4	703	5,58	11,7	11,4	120	130	17,2	0,8	1,15	0,28	26
CC55	0,049	0,46	0,22	0,5	0,84	7,6	198	38,9	769	7,05	12,4	12,9	91,3	147	17	0,4	1,25	0,28	25,6
CC56	0,047	0,48	0,18	1,1	0,72	8,4	160	31,4	767	6,01	12,7	13,4	256	142	48,3	0,3	2,07	0,56	45,2
CC57	0,02	0,23	0,07	1,07	0,39	8,5	106	31,6	929	3,73	16,6	19,1	202	81,5	29,2	1,9	1,41	0,64	75,9
CC58	0,019	0,83	0,22	0,73	0,52	17,6	117	96,9	1210	4,46	29,9	35,6	142	185	13,3	0,3	1,03	0,47	44,4
CC59	0,015	0,23	0,17	0,28	0,81	11,8	138	33,1	2360	4,78	28	16,2	112	135	5,6	0,4	0,96	0,3	26,9
CC60	0,017	0,55	0,41	0,37	0,42	16	154	42,7	2810	5,64	27,2	26,4	176	323	14,4	0,1	1,98	1,26	55,3
CC61	0,017	1,22	0,27	0,41	0,78	17,5	208	17,2	2120	7,19	31,2	11,9	431	217	10	0,05	1,18	0,31	33,7
CC62	0,019	0,56	0,17	0,33	0,66	15,5	175	29,7	1190	6,67	23,2	17,3	163	118	4,1	0,05	0,55	0,16	19,8
CC63	0,015	0,16	0,09	0,48	0,26	9,2	118	14,6	918	4,47	14,5	5,9	91	70,8	7,5	0,05	1,05	0,19	22,9
CC64	0,014	0,43	0,29	0,35	0,6	11,6	137	19,8	1680	6,72	20,6	10,8	115	101	6,3	0,2	0,6	0,15	20,1
CC65	0,013	0,26	0,27	0,46	0,38	10,2	124	15,6	1610	4,34	14,9	7,5	151	112	9,1	0,2	0,6	0,19	36,1
CC66	0,019	0,75	0,55	0,72	0,3	13,5	176	21,5	2080	7,39	22,5	10,9	175	161	13,6	0,3	0,99	0,3	28,8
CC67	0,018	0,18	0,12	0,62	0,27	10,7	146	18,8	928	5,24	15	7,2	129	88,2	13,8	0,2	0,73	0,18	37,2
CC68	0,02	0,72	0,5	1,07	0,64	13,2	146	48,7	1710	6,08	24,2	19,2	150	100	20,4	0,4	0,96	0,44	32,9
CC69	0,019	0,14	0,11	0,82	0,21	10	100	13,7	575	3,01	34,4	5,8	165	38,6	13,1	0,3	0,94	0,29	27,9
CC70	0,019	0,24	0,07	0,86	0,44	12,7	125	20,1	496	4,25	9,5	10	133	38,6	17,9	0,05	0,64	0,29	28,2
CC71	0,016	0,71	0,41	0,23	0,2	11,6	132	11,8	989	6,68	14,7	5,5	64,6	68,5	4,4	0,4	0,37	0,11	10,4
CL01	0,068	0,33	0,21	0,51	0,74	6,2	199	38,3	631	7,19	11,8	11,9	267	111	17,5	0,3	0,83	0,38	30,3
CL02	0,033	0,39	0,16	0,79	0,62	7,7	218	37,4	774	7,41	13	13,9	290	150	30	0,05	1,93	0,63	35,7
CL03	0,044	0,47	0,23	0,47	0,85	8,4	191	34,2	988	7,34	14,5	15	200	146	19,2	0,6	1,1	0,4	23,8
CL04	0,042	0,48	0,17	0,46	0,74	7,4	181	30,7	879	6,77	13,4	13,4	140	134	20,9	0,05	1,13	0,29	22,6
CQ01	0,093	0,69	0,43	0,12	1,32	9	194	45	927	7	18	18,9	110	118	8,8	0,3	0,78	0,11	15,7
CQ02	0,066	0,37	0,27	0,2	0,72	8,9	188	37,3	878	6,82	14,4	13,2	88,8	121	8,9	0,5	0,66	0,15	18,9
CQ03	0,043	0,46	0,28	0,19	0,72	7,7	238	43,6	885	8,25	15	14,7	95,2	145	10,5	0,4	0,78	0,17	18,8
CQ04	0,062	0,5	0,31	0,17	0,71	8,7	213	38,2	812	7,46	15,4	15,8	98,7	123	10,2	0,3	0,82	0,11	16,3
CQ05	0,149	0,47	0,3	0,28	0,67	7,9	183	36,5	790	6,43	14	13,4	230	136	13,9	0,05	1,13	0,18	26,8
CQ06	0,052	0,37	0,34	0,19	0,71	7,9	171	35,3	762	5,92	12,5	11,7	106	125	8,8	0,5	0,5	0,16	16,5
CQ07	0,061	0,5	0,2	0,17	0,69	10,8	326	66	1140	10,9	18,7	19,1	66,1	144	10,3	0,05	0,69	0,11	17
CQ08	0,053	0,32	0,24	0,17	0,49	6,8	185	36,1	771	6,51	11,9	11,5	57,2	135	9,1	0,5	0,61	0,14	14,9
CQ09	0,047	0,4	0,29	0,25	0,64	9,1	231	46,3	1070	8,14	15,8	15,4	85,5	167	10,8	0,05	0,8	0,19	21,7
CQ10	0,095	0,48	0,27	0,52	1,41	7,5	225	45,5	911	7,72	15,3	16	206	169	18,9	0,05	1,28	0,38	29,2
CQ11	0,062	0,4	0,28	0,14	1,51	9,6	150	29,1	627	5,53	10,8	12,1	61,8	89,5	9,3	0,1	0,4	0,13	15,2
CQ12	0,042	0,33	0,25	0,18	0,57	9,4	176	35,8	1050	6,39	14,5	12,3	69,2	126	8,6	0,05	0,51	0,16	17,6
CQ13	0,082	0,29	0,2	0,13	0,34	8,7	162	31,4	708	5,98	13,4	11,1	59,6	111	8,8	0,3	0,42	0,15	14,2
CQ14	0,048	0,45	0,34	0,31	0,54	8,9	171	31,6	835	6,1	15	12,8	122	112	13,3	0,7	0,6	0,15	22,3
CQ15	0,053	0,74	0,36	0,27	0,68	9,1	147	25	770	5,56	17,7	11,6	286	117	7,8	0,5	0,93	0,17	40
CQ16	0,072	0,41	0,27	0,39	0,57	8	184	34,1	803	6,16	13,2	11,6	150	136	17	0,1	1,12	0,25	35,5
CQ17	0,05	0,42	0,28	0,17	0,56	11	155	30,1	883	5,73	16,7	11,3	124	93,7	7	0,4	0,48	0,12	15,3
CQ18	0,055	0,4	0,28	0,38	0,66	7,2	137	27	760	5,01	12,7	12,1	362	142	14,4	0,05	1,36	0,58	38,5
CQ19	0,039	0,41	0,22	0,23	0,79	6	260	52,1	749	8,72	13,9	13,5	143	164	11	0,3	1,58	0,13	23,9
CQ20	0,068	0,5	0,38	0,15	0,53	8,7	170	31,8	793	5,95	14,3	11,3	109	110	7,4	0,05	0,57	0,1	16,4
CQ21	0,066	0,36	0,18	0,28	1,18	6,8	195	39,2	660	6,52	11,7	13,1	237	142	10,7	0,05	1,48	0,26	45,1

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
CQ22	0,032	0,37	0,2	0,31	0,78	6,7	236	45,8	780	7,87	13,1	12,6	349	140	15	0,05	1,38	0,27	41,4
EC01	0,047	0,58	0,16	0,27	0,82	10,9	167	30,1	896	5,56	13,5	12,6	101	111	9,9	0,05	0,85	0,11	18,8
EC02	0,03	0,44	0,12	0,65	0,69	9,2	129	19,1	869	4,2	10,6	9,4	202	117	19,4	0,1	2,36	0,4	39,9
EC03	0,023	0,28	0,22	2,93	0,45	7	139	30,8	1010	5,47	12	12,1	779	197	67,7	0,9	4,6	1,29	79,5
EC04	0,046	0,27	0,14	3,05	0,5	6,2	158	34,1	630	6,17	10,4	14,4	1250	219	123	0,4	7,03	1,23	92,1
EC05	0,025	0,34	0,26	1,15	0,57	10,2	185	37	1110	6,66	14,6	13,4	384	173	42,2	1	2,94	0,7	47,8
EC06	0,054	0,87	0,18	0,76	1,15	14,3	159	29,9	3390	5,86	25	18,9	293	168	24,8	0,8	1,41	0,48	33,8
EC07	0,031	0,3	0,22	0,7	0,59	9,1	203	43	1380	7,14	14,9	13	232	164	21,3	1,3	1,6	0,45	34,5
EC08	0,051	0,53	0,23	0,7	0,95	10,9	221	39,8	1160	7,63	17	14,3	573	193	34,6	1	3,1	0,46	49,8
EC09	0,019	0,15	0,08	0,43	0,22	7,7	97	21,7	684	3,54	11,2	7,5	76,6	47,9	11,1	0,1	0,64	0,19	36,4
EC10	0,021	0,27	0,17	0,94	0,62	7,9	176	35,8	1210	6,28	13,1	11,7	205	148	29,6	0,6	1,97	0,52	38
EC11	0,044	0,6	0,26	1,87	0,74	10,6	170	32,7	1380	6,4	17,4	15,1	411	187	60,8	0,5	3,24	0,79	61,8
EC12	0,037	0,5	0,19	0,17	0,72	10,6	162	31,1	1370	6,1	21,4	13,3	101	123	10,3	1	0,73	0,15	15,6
EC13	0,029	0,38	0,22	0,82	1,02	6,9	547	92,3	985	16,3	19,7	21	300	297	22,9	0,05	2,52	0,43	40
EC14	0,077	0,43	0,19	0,76	0,88	6,2	133	33,5	595	4,93	10,3	15,2	585	193	27,8	0,2	3,17	0,32	43,5
EC15	0,063	0,57	0,15	0,24	0,94	13,2	214	48,2	952	7,64	15,8	17,3	133	144	11,8	0,4	1,19	0,18	21,5
EC16	0,042	0,56	0,19	2,57	0,75	10,6	181	34,2	950	7	16,5	18,8	1110	271	71,3	0,5	6,16	1,3	82
EC17	0,04	0,54	0,14	1,59	0,72	7,8	174	31,7	814	6,67	13,3	15,3	465	167	55,6	0,3	2,88	0,82	55,5
EC18	0,026	0,25	0,16	0,86	0,48	9,6	135	30,2	1020	4,97	16	10,3	206	103	18,1	0,1	1,12	0,31	30,6
EC19	0,045	0,85	0,44	0,34	1,13	15,2	152	95	968	5,18	25,4	37,3	119	105	6,7	0,2	0,88	0,19	27,6
EC20	0,03	0,28	0,12	1,13	0,49	9,4	129	27,2	1040	4,53	15,1	11,2	275	127	22,5	0,05	1,88	0,42	39,2
EC21	0,021	0,24	0,09	0,4	0,42	9,1	155	33,6	1250	5,51	17,1	10,3	106	103	7,9	0,05	0,87	0,24	23,3
EC22	0,021	0,19	0,11	0,87	0,4	6,7	122	24,1	925	4,08	12,5	7,9	255	97,8	20,5	0,05	1,42	0,41	36,8
EC23	0,024	0,31	0,13	1,43	0,41	10,2	149	34,6	868	5,7	15,5	12,3	298	117	25,3	0,05	1,49	0,45	50,8
MC01	0,047	0,42	0,17	0,11	0,82	6,4	162	30,5	633	6,13	11,1	10,6	33,1	97,5	8,6	0,05	0,4	0,08	13
MC02	0,018	0,13	0,07	0,41	0,36	6,1	220	42,9	981	7,05	13,3	9,5	66,8	109	10,7	0,05	0,78	0,22	24,3
MC03	0,019	0,23	0,18	0,55	0,55	7,8	199	37,6	1330	6,83	13,5	12,1	92,3	145	16,6	0,3	0,94	0,4	29,7
MC04	0,026	0,28	0,15	0,75	0,56	8,7	229	44,5	1330	7,63	15	13,8	119	168	24,2	0,3	1,24	0,52	32,8
MC05	0,024	0,25	0,18	0,53	0,57	9,8	274	54,7	1220	8,92	15,5	13,5	99,8	151	17,4	0,05	1,04	0,34	29,1
MC06	0,042	0,29	0,17	1,03	0,59	9,4	290	59,4	1460	9,35	16,4	15,3	192	170	27,8	0,05	1,88	0,59	44,4
MC07	0,051	0,37	0,19	0,6	0,88	7,1	330	59,1	1140	9,39	14,6	13,6	121	148	18	0,05	1,41	0,34	36,5
MH01	0,048	0,51	0,24	1,54	0,91	8,7	139	28,5	1330	5,6	13,7	14	448	174	47	0,5	2,19	1,01	60,5
MH02	0,052	0,63	0,15	0,53	0,84	7,2	148	27,6	780	5,89	11,9	11,8	151	125	19,8	0,2	1,28	0,27	27
MH03	0,057	0,67	0,18	1,63	0,93	8,2	158	30,1	879	6,25	13,8	14,3	499	166	52,8	0,2	3,18	0,78	59,7
MH04	0,041	0,47	0,23	1,39	0,77	7,5	144	27,8	987	5,81	12,2	12,9	405	177	51,6	0,2	2,17	1,08	54,1
MH05	0,046	0,44	0,17	2,96	1,71	3,8	84	18,7	831	3,55	10,1	12,8	855	184	61,5	0,05	3,82	1,94	88,9
MH06	0,041	0,5	0,22	1,17	1,33	6,6	129	28,6	770	5	11,3	11,7	289	191	27,7	0,05	1,83	0,65	49
MH07	0,042	0,57	0,21	1,13	0,77	8,4	153	32,7	867	6,13	13,3	13,9	292	224	37,2	0,3	1,66	0,81	46,5
MH08	0,038	0,61	0,18	0,4	0,72	6,9	150	28,2	741	5,89	11,8	11,8	117	133	19,2	0,1	1,05	0,26	24
MH09	0,047	0,55	0,22	0,54	0,77	8,8	187	36,7	818	6,89	14	13,1	118	127	16,5	0,05	0,87	0,27	28,1
MH10	0,048	0,51	0,22	1,15	0,8	7,6	171	35,7	923	6,51	13	13,4	258	146	28,9	0,3	1,43	0,59	38,9
MH11	0,05	0,7	0,22	0,37	0,87	7	122	24,2	893	5,41	12,9	10,2	109	142	12,2	0,05	0,76	0,19	25,4
MH12	0,049	0,57	0,16	0,33	0,87	6,4	138	25,7	630	5,44	10,7	10,5	92,2	117	12,9	0,5	0,75	0,2	23,5
MH13	0,058	0,64	0,34	0,27	0,95	10	149	30	699	5,26	14	13,1	115	143	14	0,05	1,06	0,14	20,8
MH14	0,059	0,69	0,25	0,21	1,82	7,4	122	30,8	824	4,84	13,4	13,9	97,9	128	9,2	0,3	0,94	0,15	20,1
MH15	0,053	0,57	0,28	0,25	1,35	6,4	145	28,6	657	5,35	11,6	11,3	88,4	152	8,6	1,1	0,9	0,18	20,1
MM01	0,057	0,63	0,25	0,22	1,46	9	216	49,2	908	7,21	13,9	14,8	86,4	132	10,2	0,4	1,52	0,17	21,3
MM02	0,061	0,49	0,2	0,28	1,28	6,7	146	30,4	690	5,43	11,4	11,5	88,9	135	14,3	0,05	0,98	0,33	24
MM03	0,06	0,54	0,18	1,01	1,59	9,6	207	49,3	864	7,03	13,2	15,5	170	197	25,1	0,05	1,67	0,49	44,9
MM04	0,057	0,41	0,18	0,12	0,77	8,4	171	34,5	762	6,06	12,4	12,1	38,8	102	7,1	0,05	0,89	0,07	18,9
MM05	0,037	0,44	0,25	0,2	1	11,6	273	58,6	962	9,34	15,3	16,4	73,7	146	12,9	0,05	1,31	0,12	21,9
MM06	0,041	0,58	0,25	0,25	1,07	8,8	163	38,3	790	5,9	15,9	14,7	178	150	11,6	0,4	0,86	0,18	24,7
MM07	0,06	0,6	0,28	0,29	1,15	10,9	189	46,4	934	6,61	15,9	17,4	93,4	126	12,1	0,9	1,3	0,2	22,9

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
MM08	0,04	0,62	0,41	0,16	1,14	9,6	203	45,7	798	7,27	14,5	14,9	73,7	130	11,3	0,6	0,96	0,13	19,1
MM09	0,03	0,39	0,14	0,19	1,1	8,5	412	78,7	960	12,9	16,4	18,9	58,7	165	11,3	0,5	1,56	0,13	21,7
MM10	0,06	0,53	0,16	0,13	1,16	8,2	172	31,2	729	6,51	12,4	12,6	35,3	104	11,9	0,3	0,85	0,09	15,2
MM11	0,053	0,52	0,17	0,15	1,12	8,9	226	44,6	849	8,09	13,8	14,6	39,3	133	13,2	0,3	1	0,08	21,2
MM12	0,038	0,51	0,16	0,24	1,15	7,9	225	42,6	880	8,18	13,1	14,1	47,3	142	13,4	0,05	1,1	0,18	24,3
MM13	0,049	0,52	0,18	0,4	1,16	9,5	314	55,5	1000	10,9	15,8	16,9	82,9	154	18,2	0,05	1,56	0,31	25,8
MM14	0,062	0,56	0,28	0,22	1,04	7,8	208	42,1	809	7,51	13,8	13,5	78,8	131	14,4	0,3	1,15	0,14	21,9
MM15	0,065	0,56	0,21	0,44	1,29	10,2	327	64,3	1160	11,1	16,8	18,7	101	184	17,1	0,05	1,56	0,35	30,3
MM16	0,06	0,5	0,16	0,17	1,4	7,7	239	44,4	849	8,4	13	13,6	38	131	10,6	0,1	1,04	0,32	16,8
MM17	0,054	0,55	0,16	0,32	1,61	8,6	304	56	1020	10,3	15,4	17,2	67,2	171	15,4	0,1	1,17	0,68	25,5
MM18	0,06	0,59	0,2	0,3	1,1	9	197	37,5	976	7,41	14,5	14,6	81	148	14,3	0,1	0,88	0,28	21,9
MM19	0,056	0,5	0,16	0,28	1,51	8,7	362	68,4	1060	11,7	16,7	19,5	88,7	194	14,3	0,2	1,55	0,2	23
MM20	0,042	0,45	0,26	0,9	1,16	10,4	207	41,9	1090	7,35	14,1	15,2	177	196	30,1	0,6	2,17	0,83	37,9
MM21	0,045	0,47	0,19	0,28	1,08	10,7	347	65,4	1080	11,6	17,1	18,9	49,3	184	15,7	0,4	1,76	0,13	20,5
MM22	0,048	0,51	0,21	0,2	1,18	11	216	46,4	777	7,37	13	14,7	42,9	129	10,8	0,2	1,23	0,13	16
MM23	0,047	0,51	0,12	0,2	1,1	10,3	282	48,9	911	9,7	15,2	16,1	64,9	147	14,4	0,8	1,43	0,1	16,8
MM24	0,082	0,64	0,14	0,29	1,28	11,5	332	59,8	1070	11,1	18,5	18,7	80,3	162	22,7	0,6	2,08	0,16	21,6
MM25	0,055	0,56	0,23	0,46	1,3	8,6	196	43,7	973	7,15	14,4	13,9	149	229	14,5	0,8	1,51	0,26	70,9
MM26	0,067	0,37	0,19	0,13	1,63	6,1	159	33	519	5,41	8,3	9,4	64,7	76,4	9,9	0,4	1,15	0,13	12
MM27	0,039	0,4	0,2	0,23	0,83	8,6	233	45,9	870	7,95	13,4	13,4	71,1	140	12,5	0,3	1,35	0,22	16
MM28	0,069	0,45	0,22	1,1	1	9	257	50,3	919	8,56	14,1	16,2	187	168	48,7	1,4	3	0,64	39,1
MM29	0,05	0,64	0,29	0,54	0,84	10,2	147	30,5	915	5,76	15	14	177	158	21,1	1,2	1,36	0,34	24,1
MM30	0,049	0,55	0,23	0,2	0,8	9,8	147	26,8	807	5,77	13,2	13,1	60,2	132	11,6	1	0,99	0,13	15,3
MM31	0,107	0,47	0,2	0,78	0,88	6,5	119	21,5	638	4,21	10,1	9,5	182	134	20,6	0,9	1,21	0,46	29
MM32	0,05	0,56	0,34	0,65	1,76	8,4	136	26,9	967	5,48	12,8	12,9	240	193	20,2	0,7	1,5	0,8	29,7
MM33	0,047	0,51	0,26	0,55	1,09	9,4	164	31,3	855	6,13	12,8	12,8	131	148	22,2	0,9	1,35	0,37	22,1
MM34	0,05	0,56	0,24	0,15	0,99	10,8	223	47,8	886	7,69	15,9	17,4	60,2	150	10,1	0,9	1,26	0,21	14,1
MM35	0,149	0,43	0,14	0,1	0,91	9,1	138	26,8	684	5,18	11,3	10,7	29,4	91	9	1,2	0,9	0,06	11,4
MM36	0,094	0,7	0,2	0,14	0,97	9,9	134	32,2	600	4,75	11	11,5	61,7	104	10,2	0,7	1,48	0,18	13,6
MM37	0,088	0,55	0,28	0,17	1,11	8,9	144	33,6	722	5,38	12	12,6	87	125	12,8	0,9	1,36	0,12	18,9
MM38	0,061	0,48	0,19	0,17	1,1	8,6	189	39,2	763	6,91	12,9	13,7	59,5	129	13,6	0,5	1,2	0,12	15,7
MM39	0,063	0,54	0,16	0,16	1,03	9,3	156	34,3	736	5,57	12,5	12,4	62	109	15,5	1,1	1,23	0,11	14,2
MM40	0,084	0,61	0,19	0,11	1,3	10,8	176	37,7	759	6,01	12,9	13,7	60,9	134	9,8	0,8	1,36	0,17	19,3
MM41	0,033	0,3	0,21	0,28	0,9	9,9	266	57	1090	8,95	15,2	15	66,6	153	12,1	0,8	1,48	0,24	18,2
MM42	0,028	0,26	0,16	0,38	0,78	8,3	285	58,5	911	8,88	12,7	13,4	71,6	155	13,7	1,5	1,54	0,25	18,4
MM43	0,048	0,44	0,23	0,81	1,37	9,7	298	56	995	9,81	15,5	18,5	197	421	48,5	1,6	2,51	0,85	54
MM44	0,055	0,51	0,14	0,2	0,95	11,4	211	43,4	890	7,59	15,1	15,6	49,9	138	16	0,5	1,36	0,11	15,4
MP01	0,078	0,67	0,19	0,2	0,59	14,4	163	41,7	951	6,53	18,2	17,3	92,4	123	5,7	0,7	0,73	0,06	24,9
MP02	0,035	0,57	0,39	0,94	0,92	8,9	116	41,9	1000	4,2	17,6	16,1	276	130	15,5	0,9	2,09	0,56	44,9
MP03	0,028	0,84	0,54	1,08	0,81	8,2	108	24,3	894	5,05	18,4	13,3	3220	428	24,3	1,4	7,41	1,61	75,4
MP04	0,037	0,5	0,2	0,41	0,89	7,4	148	28,8	575	5,41	11	11,2	196	111	16,4	1,6	2,07	0,25	26,1
MP05	0,034	0,83	0,4	0,7	0,87	11,1	116	33,6	1310	5,22	19,3	14,7	461	158	11,5	0,8	1,96	0,34	37,5
MP06	0,06	0,86	0,5	0,31	1,17	9,7	181	41,3	1680	6,76	17,8	15,1	141	140	9,1	1,9	1,4	0,19	24,2
MQ01	0,051	0,49	0,37	0,36	0,55	11,1	321	61,9	1400	10,4	19,7	17	82,1	158	15,7	0,8	0,93	0,26	22,8
MQ02	0,05	0,47	0,26	0,18	0,69	9,1	362	67,8	1110	11,8	18	17,4	64	168	11,8	1,6	0,89	0,13	18,6
MQ03	0,035	0,57	0,51	0,42	0,36	6,5	157	26,7	614	5,15	14,5	10,2	160	103	14,5	0,9	0,63	0,26	23,3
MQ04	0,04	0,53	0,46	0,31	0,51	8,3	192	37,1	828	6,46	15,1	12,4	257	148	10,9	1	0,66	0,2	30,8
MQ05	0,045	0,4	0,28	0,15	0,75	7,5	300	58,7	1170	9,81	16,2	14,6	45,1	156	8,8	1,1	0,82	0,14	19,9
MQ06	0,056	0,51	0,31	0,25	1,1	12,1	263	51,9	968	8,73	17,2	16,9	132	159	13,2	73,8	0,94	0,17	22,9
MQ07	0,037	0,64	0,6	0,12	0,6	7,4	161	30,5	701	5,2	15,4	11,4	151	92,8	8	0,9	0,5	0,09	15
MQ08	0,056	0,38	0,23	0,22	0,8	7,6	172	33,2	870	6,39	12,8	11,6	129	148	8,5	1,3	0,63	0,25	20,2
MQ09	0,042	0,36	0,2	0,34	0,91	5,1	156	33,9	535	5,21	9,7	10,8	211	182	11,5	0,8	1,15	0,27	46,9
MQ10	0,047	0,37	0,25	0,41	0,84	5,4	137	32,8	555	4,95	10,4	11	555	242	16,7	0,8	2,67	0,56	58,3

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
MQ11	0,041	0,39	0,21	0,22	0,84	5,7	182	37,8	614	6,35	10,8	11,8	139	141	9,1	0,5	0,97	0,16	30,2
MQ12	0,058	0,52	0,28	0,2	1,06	7,9	280	55,6	987	9,19	15,8	15,3	107	178	11,5	0,6	0,84	0,23	26,6
MQ13	0,069	0,47	0,59	0,32	1,87	5,3	192	39,5	776	6,33	11,8	13,8	173	270	14,2	0,8	1,77	0,36	35,5
MQ14	0,052	0,44	0,24	0,11	0,83	5,7	175	31,2	595	5,98	11,2	10,1	91,8	111	6,5	1,1	0,48	0,07	12,9
MQ15	0,045	0,52	0,43	0,25	0,75	7	216	42,1	771	6,98	14,3	13,1	136	158	10,8	0,8	0,7	0,18	22,8
MQ16	0,054	0,41	0,21	0,42	0,67	7,1	319	58,5	874	10,2	13,8	14,6	73,5	161	18	0,6	1,18	0,2	26,5
MQ17	0,045	0,42	0,29	0,17	0,53	8	254	49,6	996	8,3	14,9	13,7	58,8	156	8,7	0,5	0,64	0,15	20,1
MQ18	0,046	0,47	0,29	0,21	0,63	6,7	178	35,6	655	6	13,2	11,4	147	113	8,9	0,7	0,73	0,17	26
MQ19	0,039	0,36	0,21	1,03	0,68	6,2	227	43,5	769	7,6	12,5	11,9	135	137	9,8	1	0,95	0,18	44,8
MQ20	0,039	0,39	0,19	0,29	0,83	7,9	251	48,1	795	8,41	13,1	13,9	127	158	14,8	0,7	1,28	0,22	31,4
MQ21	0,053	0,6	0,46	0,49	1,39	8,6	160	36	752	5,83	14,8	15,5	318	833	16,2	0,5	1,1	0,48	80,9
MQ22	0,056	0,43	0,3	0,28	1,81	5,7	138	31,7	596	4,82	10,9	11,4	223	199	11,5	1,1	1,33	0,35	38,7
MQ23	0,054	0,44	0,2	0,15	0,97	4,7	111	23,4	462	3,65	8,4	7,8	125	86,4	7,9	0,9	0,46	0,22	18,9
MR01	0,021	0,25	0,18	0,66	0,5	8,3	126	27,4	1100	4,62	14,4	11,1	225	120	21,7	0,5	1,96	0,4	28,2
MR02	0,021	0,23	0,12	0,57	0,44	7,4	133	25,2	695	4,46	11,7	9,2	202	101	14,8	0,6	1,37	0,24	30,4
MR03	0,032	0,39	0,26	0,35	0,77	9,8	141	36,4	734	4,63	14,9	15,5	169	109	11	0,5	1,76	0,2	25,3
MR04	0,025	0,28	0,2	0,51	0,72	7,7	146	29,1	665	4,34	11,1	9,8	219	106	11,3	0,7	1,27	0,28	29,2
MR05	0,024	0,32	0,27	0,82	0,66	8,1	125	31,2	543	4,55	13,2	11	773	171	19,9	0,8	1,91	0,58	46,8
MR06	0,021	0,26	0,22	0,53	0,49	8,4	114	28,1	733	4,15	14,5	10,6	187	104	12,1	0,8	0,93	0,33	27,4
MR07	0,025	0,88	0,32	0,55	0,78	11,4	127	30,5	979	5,35	20,3	14,7	638	194	13,5	0,7	2,74	0,43	37,8
MR08	0,069	0,57	0,16	0,14	0,74	11,1	196	39,6	748	6,57	14,5	13,6	57,3	108	9,4	1	0,73	0,08	18,3
MR09	0,034	0,35	0,14	0,69	0,52	9,9	161	34,3	821	5,59	15,8	13,1	345	112	17,1	0,8	1,31	0,41	32,7
MV01	0,048	0,54	0,14	0,2	0,89	8,5	166	29,5	748	6,11	12,9	12,7	56,7	127	13,5	0,7	1,06	0,12	16
MV02	0,046	0,46	0,1	0,23	0,84	8,9	180	31,5	699	6,57	12,6	12,7	48,4	118	17,3	0,5	1,46	0,12	15,2
MV03	0,041	0,51	0,16	0,55	0,77	7,4	148	28,3	751	5,8	12	12,4	136	127	23,1	0,4	1,63	0,31	24
MV04	0,043	0,51	0,17	0,92	0,76	7,1	129	22,5	702	5,22	11,5	12,3	230	137	33,7	0,6	1,89	0,47	32,9
MV05	0,055	0,55	0,2	0,65	1,08	7,8	150	27,2	865	5,73	13,2	14,4	175	169	21,6	0,4	1,62	0,34	26
MV06	0,043	0,53	0,19	0,85	0,89	7,6	152	26,7	792	5,96	12,5	13,6	231	235	27,3	0,5	1,74	0,58	33,8
MV07	0,083	1,15	0,38	0,15	1,34	7,5	160	27,1	1310	6,11	22,7	16,7	151	129	6,2	0,7	2,28	0,09	8,2
MV08	0,04	0,49	0,22	0,52	0,85	7,7	178	33	792	6,6	12,5	13,3	140	148	18,8	0,4	1,62	0,34	28,1
MV09	0,039	0,44	0,19	0,48	0,91	9,1	194	35,7	775	6,84	13,2	13,4	161	151	23,4	0,5	1,59	0,3	24,9
MV10	0,071	0,43	0,21	0,3	1,07	8,3	221	40,8	769	7,45	12,7	14,2	150	153	15,5	0,7	1,68	0,25	28,6
MV11	0,033	0,46	0,17	0,45	0,77	7,1	146	24,7	640	5,51	10,4	10,8	206	136	17,7	0,9	1,48	0,32	26,2
MV12	0,04	0,44	0,17	0,57	0,93	7,5	170	30,8	754	6,2	11,5	12,3	178	155	24,8	0,5	2,16	0,42	26
MV13	0,044	0,5	0,13	0,12	0,8	9,7	208	38,2	869	7,2	14,2	14,4	39	132	13,4	0,8	1,13	0,08	14,1
MV14	0,039	0,4	0,2	0,42	0,76	8,5	172	32,5	700	6,04	11,9	11,9	121	132	20,4	0,8	2,34	0,32	23,5
MV15	0,031	0,27	0,16	0,44	1,08	5,8	131	29,5	479	4,41	7,9	10,4	256	254	14,5	1	1,74	0,38	51,7
MV16	0,146	0,53	0,32	0,2	1,97	8	184	34,9	839	6,59	12,6	14,1	110	173	14	0,4	1,49	0,14	20,2
MV17	0,061	0,38	0,24	0,32	0,91	6	124	27,5	610	4,29	9,1	9,6	175	168	15,4	0,4	1,4	0,31	29,6
MV18	0,033	0,42	0,16	0,98	0,85	7,1	180	36	710	6,2	11,6	13	281	166	40,9	0,6	2	0,68	36,9
MV19	0,04	0,33	0,22	1,93	1,13	7,6	127	31,7	655	4,98	10,9	14,1	1090	330	52,6	0,4	4,81	1	75,9
MV20	0,05	0,4	0,27	0,43	0,99	8,8	157	34,2	1050	5,77	13,1	13,9	349	255	19,7	1,6	2,12	0,41	30,1
NC01	0,022	0,22	0,11	3,32	0,26	9,8	153	28,6	831	5,32	14,3	9,6	394	133	54,7	0,6	2,83	0,8	77
NC02	0,024	0,28	0,19	0,46	0,53	7	173	32,8	866	6,27	11,9	9,9	165	133	22,7	0,7	1,02	0,68	22,9
NC03	0,037	0,47	0,19	1,57	0,53	8,6	186	43,6	850	7,52	18,2	15,7	721	373	73,2	0,4	18,8	1,26	66,3
NC04	0,061	0,4	0,22	0,23	1,12	5,4	137	31,2	549	4,55	9,5	9,2	113	116	11,1	1,3	0,53	0,16	18
NC05	0,05	0,49	0,26	0,75	0,6	8,2	162	32,5	780	5,67	12,6	11,9	152	147	22,4	0,7	0,96	0,5	34,4
NC06	0,039	0,52	0,16	0,59	0,62	6,7	144	25,3	697	5,48	11	11,5	135	132	23,3	0,4	0,99	0,41	25,7
NC07	0,036	0,43	0,17	0,12	0,7	7,3	158	29,1	840	5,9	11,4	11,5	33,6	126	8,8	1,2	0,4	0,13	12,8
NC08	0,045	0,41	0,15	0,79	0,77	7,1	216	43,8	684	7,55	13	13,1	125	140	22,5	0,2	1,43	0,47	31,3
NC09	0,042	0,51	0,13	1,48	0,66	7,6	197	35,4	704	6,31	11,7	12,8	387	165	38,5	0,7	2,38	0,78	51,6
NC10	0,033	0,35	0,19	1,42	0,45	6,7	140	27,2	983	5,09	11,7	11,3	372	161	38,3	0,5	2,36	0,82	48,7
NC11	0,041	0,42	0,22	3,08	0,71	6	100	20,2	878	4,36	11,5	13	1030	236	72,2	0,8	4,38	2,08	89,7

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
NC12	0,042	0,49	0,16	2	0,71	8,2	148	24	720	5,49	12,1	12,8	531	172	52,7	0,5	2,97	0,99	66,3
NC13	0,045	0,44	0,13	3,63	0,53	5,9	120	23,9	673	5,29	13	15,9	1630	263	121	0,6	9,29	1,75	97,6
NC14	0,035	0,42	0,17	2,41	0,47	6,5	124	24,8	818	4,99	12,1	13	1010	215	68	0,6	4,42	1,3	72,1
NC15	0,016	0,2	0,21	0,58	0,56	6,8	104	16,9	2120	4,01	14,9	10,1	163	124	11,8	0,3	0,75	0,4	27,5
NC16	0,021	0,21	0,12	1,28	0,32	9,8	122	15,5	945	4,42	13,3	7,7	268	111	18,5	2,6	1,09	0,45	43,5
NC17	0,018	0,15	0,11	1,08	0,28	7,6	130	20,3	1620	4,5	20,2	8,1	223	80,3	23,7	1,6	1,39	0,32	41,2
NC18	0,022	0,36	0,18	2,33	0,7	9	137	26,7	1290	4,89	17,1	12,7	468	195	24,9	1	2,23	2,09	75,7
NC19	0,019	0,14	0,09	0,93	0,31	5,7	129	24,1	929	4,43	12,8	7,1	211	87,6	31,3	0,9	1,57	0,43	38
NC20	0,023	0,22	0,09	0,97	0,35	6	119	22,1	573	3,95	11,2	6,5	313	99,9	27,5	0,2	2,59	0,47	38,5
NC21	0,016	0,1	0,08	1,01	0,19	6,1	90	16,1	1580	3,25	18,6	5,9	157	56,8	19,2	0,6	1,01	0,24	38,5
NC22	0,016	0,17	0,16	0,56	0,32	10,9	138	21,4	2320	4,75	23,9	11,7	128	83,9	13,9	0,7	0,88	0,28	28
NC23	0,024	0,55	0,24	0,51	0,64	8,7	165	28,3	1210	5,61	19,9	13,1	193	108	10,8	0,2	0,61	0,27	22,6
NC24	0,022	0,18	0,1	1,36	0,33	7	139	26,5	833	4,77	12,9	8,1	267	89,7	27,6	0,9	1,6	0,31	44,9
NC25	0,024	0,23	0,14	1,8	0,35	6,7	166	33,1	758	5,32	12,6	10	363	117	39,9	0,2	2,72	0,65	56,3
NC26	0,021	0,23	0,1	0,31	0,51	9,5	124	34,7	951	4,52	16,4	10,6	116	78,7	7,8	0,5	0,49	0,22	19,9
NC27	0,044	0,38	0,09	0,72	0,7	6,8	117	23,5	353	5,15	9,7	9	195	109	24,8	0,3	1,2	0,43	33,9
NC28	0,027	0,47	0,16	0,35	0,56	8,1	169	33,3	784	6,31	11,9	11,8	140	133	15,1	0,2	1,05	0,24	20,1
NC29	0,024	0,28	0,2	0,34	0,67	7,8	168	34,7	1080	5,97	12	10,4	119	135	24,7	0,2	1,06	0,46	21,4
NC30	0,037	0,5	0,19	0,3	0,83	9,8	207	39,1	1140	7,3	13,6	13,3	92,6	153	12,4	0,3	0,87	0,2	22,8
NC31	0,028	0,5	0,12	0,33	0,9	9,2	245	48,1	852	8,92	13,7	13,9	84,8	127	15,7	0,05	1,04	0,17	21,1
NC32	0,039	0,49	0,21	0,37	0,96	9,6	240	47,9	953	8,43	13,5	15	92,1	149	23,9	0,2	1,38	0,36	22,3
NC33	0,042	0,47	0,23	0,39	1,04	9,2	170	36,4	796	6,54	12,4	12,8	82,9	118	15,6	0,4	0,8	0,39	22,1
NC34	0,031	0,51	0,22	0,48	0,91	9,1	228	46,4	889	7,6	15	14,1	92,5	134	16,5	0,6	1,12	0,4	27,2
NC35	0,021	0,22	0,11	0,57	0,55	11,8	140	50,4	2000	5,16	20,7	23,5	133	81,7	12	0,2	0,73	0,26	27
NC36	0,03	0,42	0,16	0,81	0,52	10,2	135	34,1	861	5,11	15,9	12,4	191	83,1	18	0,5	0,99	0,28	31,6
NC37	0,027	0,59	0,4	0,39	0,94	10,9	146	46,1	1010	5,48	18,2	17	143	92,3	10,3	0,5	0,74	0,3	22,8
NC38	0,022	0,37	0,33	0,55	0,36	13,3	139	27,5	2080	5,42	22,4	12,3	160	97,3	6,8	0,4	0,47	0,36	25,1
NC39	0,022	0,29	0,14	0,43	0,81	9,5	110	44,2	1460	3,99	18,7	14,9	114	71,4	8,4	0,8	0,59	0,22	26,9
NC40	0,021	0,64	0,27	0,51	0,84	12,3	150	41	1730	4,68	22,2	20	193	196	16,1	0,8	0,96	0,49	77,5
NC41	0,016	0,38	0,16	1,15	0,44	12	142	46,2	1040	4,66	21,4	19,7	263	114	22,4	0,8	2,31	0,49	40,9
NC42	0,021	0,31	0,12	0,48	0,35	9,5	116	24,8	1120	4,32	15,9	10,3	201	105	11,4	0,6	1,94	0,22	28,1
NC43	0,016	0,15	0,07	0,59	0,37	7,4	124	27,8	884	4,07	13,7	7,5	130	72,4	10,9	0,6	1,31	0,29	32,1
NC44	0,024	0,39	0,17	0,8	0,51	8,3	167	31,3	795	5,86	11,8	11,7	198	183	23	0,7	1,73	0,46	33,9
NC45	0,027	0,43	0,18	1,13	0,58	7,3	181	31,5	812	6,36	11,8	12,5	316	170	46	1,9	2,95	0,75	48,2
NC46	0,039	0,46	0,19	4,31	0,64	7,6	148	27,1	827	5,42	12	14,1	1310	317	155	0,9	6,86	2,73	138
NC47	0,037	0,48	0,25	4,85	0,57	9,3	184	36,4	890	6,94	14,5	15,7	2020	262	189	12,4	8,79	3,36	158
NC48	0,049	0,42	0,18	112	0,69	8,4	169	41,9	605	6,98	17,7	21,8	9620	800	825	0,3	70,8	19,2	3390
NC49	0,018	0,19	0,1	0,99	0,43	9,1	103	21,1	1810	3,57	16,8	9,2	135	87,3	11,8	0,6	0,88	0,28	38,7
NC50	0,022	0,81	0,44	1,44	0,82	13,7	123	42,3	1970	4,46	21,2	22,2	418	257	19	0,2	1,34	0,52	52,2
NC51	0,029	0,28	0,1	0,41	0,54	10,2	202	38,5	1180	6,76	15,9	11,1	78,9	108	11,4	0,2	0,87	0,23	25
NC52	0,021	0,18	0,11	0,7	0,39	7,8	135	29	1090	4,71	13,5	8,8	118	100	16,1	0,2	1,24	0,27	30,6
NC53	0,02	0,16	0,09	0,51	0,45	8,3	140	30,8	1440	4,85	16,7	9,1	101	77	14,3	0,2	1	0,23	26,6
NC54	0,022	0,27	0,12	0,48	0,58	10,7	373	71	1410	10,5	20	15,8	102	163	15,8	0,5	1,49	0,29	32,6
NC55	0,021	0,26	0,12	0,66	0,53	8,4	136	28,4	801	4,88	11,3	8,9	156	110	13,4	0,6	1,27	0,33	34,9
NC56	0,047	0,71	0,31	0,45	0,84	10,7	143	27,9	1390	5,35	18,4	12,8	197	131	9,3	0,8	1,04	0,24	23,1
NQ01	0,044	0,43	0,31	0,21	0,46	7,1	206	41,7	1210	7,19	17	11,7	63,5	123	8,7	0,3	0,65	0,12	40,6
NQ02	0,043	0,48	0,37	0,16	0,47	8,4	264	50,1	1230	8,89	18,3	14,7	51,8	137	9	0,9	0,92	0,12	18,1
NQ03	0,038	0,45	0,17	0,19	0,67	8,7	374	71,2	1110	12,5	19,1	19,3	74,5	181	14	0,8	1,31	0,16	27,1
NQ04	0,038	0,41	0,26	0,23	0,56	9,3	246	48,7	1070	8,44	16,4	15,5	91,3	151	11,6	1,6	1,02	0,18	27,4
NQ05	0,035	0,46	0,14	0,26	0,79	7,4	355	66,3	1020	11,5	16,2	16,4	68,1	173	15,5	0,6	1,16	0,19	27,5
NQ06	0,054	0,46	0,17	0,21	0,77	7,4	299	55,5	1010	10,4	14,9	15,7	55,3	162	13	0,5	1,08	0,16	23,7
NQ07	0,042	0,78	0,71	0,17	0,64	8,6	193	35,4	895	6,35	18,3	13,4	144	136	11,3	0,05	0,64	0,17	20,8
NQ08	0,038	0,47	0,24	0,61	0,95	7,6	257	56,1	1000	9,12	16,1	18,4	186	326	17,9	0,2	1,19	0,51	59,5

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
NQ09	0,055	0,52	0,17	0,21	0,99	9	306	59,4	1040	10,4	16,7	16,9	67,1	207	15,3	0,4	0,97	0,16	28,6
NQ10	0,097	0,48	0,18	0,2	0,78	11	228	43,3	1050	8,56	16,1	14,6	78,6	148	12,7	0,05	0,86	0,13	23,6
NQ11	0,064	0,47	0,25	0,2	0,76	10,1	203	38,2	911	7,38	14,9	13,7	81,4	132	11,8	0,05	0,73	0,13	23,4
NQ12	0,056	0,53	0,18	0,26	0,85	13,2	252	45,1	846	8,49	16,3	14,9	69,4	126	14,7	0,4	1,11	0,12	25,4
NQ13	0,038	0,39	0,16	0,26	0,46	10,4	197	41,4	919	6,81	15	11,9	102	102	10,7	0,3	0,68	0,18	24,2
NQ14	0,074	0,48	0,2	0,21	0,98	11,1	285	56,9	1020	9,9	16,7	17,4	90,8	167	14,2	0,1	1	0,24	25,5
NQ15	0,112	0,35	0,2	0,18	0,47	10,5	183	37,3	1060	6,78	14,9	12,2	57,1	126	9	0,4	0,65	0,15	24
NQ16	0,05	0,49	0,17	0,18	0,76	9,9	225	45,9	901	8,14	15,1	15	76,3	146	11,4	0,4	0,7	0,17	24,5
NQ17	0,059	0,5	0,19	0,25	0,74	9,8	243	47,8	921	8,85	15,3	16	75,8	136	14,1	0,3	0,9	0,18	34,3
NQ18	0,045	0,45	0,26	0,3	0,83	6,6	238	48,8	730	7,83	12,7	13,1	235	161	11,7	0,4	1,19	0,23	52,3
NQ19	0,069	0,39	0,15	0,17	0,61	10,3	192	38,2	877	6,57	15,2	11,4	69,4	109	8,8	0,3	0,88	0,14	22
NQ20	0,143	0,41	0,28	0,2	0,93	5,2	181	34,2	616	6,28	11,4	11,6	136	194	9,5	0,05	0,99	0,18	35,2
NQ21	0,096	0,41	0,21	0,38	0,89	9,4	184	40,8	858	6,59	13,5	16,3	781	293	15,3	0,6	2,55	0,52	50,1
NV01	0,107	0,38	0,24	2,17	0,55	9,6	175	39,1	815	6,48	13,8	16,6	628	211	78,2	0,2	3,92	0,63	69,5
NV02	0,077	0,36	0,22	1,84	0,8	8	164	35,8	1010	6,19	12,8	15,7	523	288	37	0,3	2,8	1	152
NV03	0,035	0,43	0,26	0,31	0,72	8,1	159	35,1	803	5,75	12,7	13,1	136	140	13,4	0,1	1,3	0,24	21,6
NV04	0,03	0,31	0,19	1,96	0,73	8,8	176	35,6	931	6,31	13,7	14,5	530	189	54,5	1,6	2,75	1,21	64
OC01	0,06	0,49	0,14	0,15	0,62	9,9	138	27,1	628	4,9	12,3	11,7	72,2	96,1	7,1	0,3	0,6	0,1	20,9
OC02	0,033	0,39	0,16	1,81	0,43	9,1	181	38,7	843	6,16	16,5	12,7	455	196	41	2,5	6,85	0,69	59,1
OC03	0,041	0,45	0,19	0,42	1,23	9,2	487	92	1250	15,1	19,3	22,2	97,9	233	17,2	0,4	1,51	0,69	29,6
OC04	0,042	0,46	0,25	0,83	0,8	9,6	191	38,4	1340	7,21	15,8	15,6	219	176	26,5	0,1	1,6	0,71	36,2
OC05	0,119	0,57	0,16	1,62	0,99	7,2	95	14,5	479	3,72	11	9,7	366	123	48,1	0,4	2,7	0,47	48,8
OC06	0,04	0,52	0,17	1,23	0,75	7,2	195	37,1	881	7,15	13,8	14,5	400	169	43,9	0,3	2,23	0,89	43,4
OC07	0,036	0,45	0,16	0,41	0,67	7,8	196	41,5	774	7,14	12,5	12,7	80,8	122	15,3	0,2	0,81	0,22	24,3
OC08	0,042	0,59	0,21	0,75	0,59	9,9	163	31,6	955	6,33	15,3	13,9	169	157	22,2	0,2	1,06	0,4	37,5
OC09	0,043	0,54	0,19	0,86	0,69	9,6	208	41,2	909	7,83	15,2	14,7	227	162	28,7	0,3	1,75	0,47	36,1
OC10	0,036	0,45	0,19	0,62	0,65	8,3	176	33,5	867	6,69	12,7	12,8	175	150	21,6	0,5	1,13	0,34	28,6
OC11	0,036	0,43	0,31	0,6	0,65	7,5	131	27,5	987	5,19	13,3	13,2	413	221	76,3	0,5	1,66	1,64	36,1
OC12	0,039	0,49	0,18	1,29	0,63	8	140	24,4	700	5,13	10,9	10,9	386	148	37,9	0,3	2,4	0,66	47,4
OC13	0,046	0,55	0,3	2,1	0,67	8	133	26,4	804	5,28	12,7	13,9	692	210	74,8	0,2	3,65	1,34	64,8
OC14	0,099	0,7	0,4	1,8	0,83	10,4	139	40	1370	4,86	20,4	18,6	602	206	36,8	0,6	2,28	1,33	71,4
OC15	0,095	0,43	0,1	0,6	0,95	6,7	127	23,2	1720	4,45	12	9,5	234	104	23,9	0,5	0,81	0,5	33,4
OC16	0,038	0,42	0,2	0,38	0,65	9,4	352	68,5	1430	11,7	17,6	17,9	71,6	207	15,2	0,4	1,2	0,27	28,1
OC17	0,04	0,44	0,19	0,41	0,76	8,7	328	63,3	1210	11,4	17,2	16,8	82,5	195	14,1	1,1	1,2	0,28	26,5
OC18	0,215	0,71	0,43	0,38	0,54	7,6	180	32,7	446	6,1	10,7	11,3	97,5	109	14,2	0,4	0,75	0,16	30,4
OC19	0,092	0,49	0,22	0,31	0,72	6,1	154	28,2	577	5,12	10,8	9,6	115	122	14,9	0,5	1,09	0,21	23,3
OC20	0,103	0,73	0,11	0,08	0,95	5	92	13,3	540	3,79	11,5	9,2	24,7	88,9	11,4	0,5	0,13	0,05	12,8
OC21	0,034	0,47	0,21	0,5	0,54	8,7	199	37,1	994	7,37	14,6	14,1	143	155	19,5	0,6	1,19	0,29	26,9
OC22	0,014	0,14	0,11	0,55	0,38	7,4	102	23	1220	3,49	13,2	7,1	86,2	64,1	19,2	0,5	1,02	0,34	27,2
OC23	0,016	0,18	0,12	0,73	0,3	7,5	141	28,7	1110	5,03	11,6	8,1	79,1	84,4	20,2	0,7	1	0,25	34,8
OC24	0,022	0,26	0,12	0,82	0,44	8,5	133	26,6	926	5,06	13,9	8,8	121	101	22,8	0,5	1,16	0,39	37,4
OC25	0,024	0,29	0,18	0,88	0,42	8,2	148	25,9	879	5,38	11,9	8,8	148	106	23,6	0,3	1,45	0,35	40,4
OC26	0,016	0,18	0,12	0,68	0,35	7,9	146	29	1200	4,95	12,9	8,3	116	91,7	19,1	0,8	1,16	0,4	45,2
OC27	0,018	0,13	0,1	0,94	0,47	7	130	27,3	1230	4,13	9,7	7,5	126	92	22,3	1,2	1,16	0,58	71,1
OC28	0,05	0,44	0,17	1,76	0,69	9,2	157	27	720	5,27	11,6	10,1	239	125	52,1	0,6	2,75	0,75	64,1
OC29	0,018	0,52	0,34	0,51	0,34	12,3	126	43,4	2340	4,21	26,2	21,1	123	239	15,7	1	0,75	0,77	75,1
OC30	0,017	0,22	0,11	0,42	0,42	10,4	135	27,2	1290	4,72	17,1	10,4	115	98,5	11,4	1,4	0,86	0,28	27,4
OC31	0,015	0,52	0,33	0,87	0,31	13,3	173	22,7	1710	5,83	22,4	11	211	128	17,5	0,6	1,32	0,5	29,3
OC32	0,017	0,2	0,14	0,85	0,25	13	156	21,1	2420	5	20,1	11,1	205	142	11,4	0,2	0,88	0,56	31,3
OC33	0,017	0,29	0,19	1,25	0,81	11,5	112	30,4	1940	3,46	25,9	17	331	156	22,8	0,5	2,08	0,68	53,6
OC34	0,019	0,17	0,12	0,4	0,45	9,5	173	36,2	1930	6,09	18,9	12,1	111	106	10,9	0,3	0,88	0,27	47,5
OC35	0,012	0,15	0,13	0,6	0,47	8	112	23,6	1810	3,84	14,8	8,9	169	93,9	19,5	0,4	0,9	0,4	31,9
OC36	0,015	0,16	0,14	0,58	0,33	9,7	105	20,2	2630	3,85	18,5	10,8	141	98,5	12,8	0,5	1,1	0,27	29,3

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
OC37	0,016	0,16	0,12	0,48	0,35	6,3	112	19,2	1060	3,82	12,5	6,1	117	77,9	13,6	0,3	0,77	0,25	25,8
OC38	0,083	0,56	0,14	8,99	1,24	11	129	37,6	1190	5,33	17,9	22,8	2290	334	109	0,5	6,64	4,52	269
OC39	0,031	0,54	0,2	0,75	0,65	10,1	228	43,3	995	8,35	15,1	15,2	448	199	32,8	1,1	2,13	0,81	35
OC40	0,035	0,51	0,21	2,44	0,67	8,7	161	31,6	782	6,24	12,5	13,5	767	214	106	1	5,75	1,45	74,1
OC41	0,061	0,29	0,12	0,46	0,61	7,2	126	25,3	616	4,52	10,3	7,6	365	96	15,7	1,9	2,02	0,2	30
OC42	0,044	0,4	0,25	2,78	0,54	9,2	151	31,8	712	5,68	11,7	11,9	893	175	80,5	0,4	4,63	1,03	95,6
OC43	0,034	0,39	0,1	0,54	0,51	10,3	182	37,4	832	5,67	14,4	11,3	309	119	14,9	0,3	1,53	0,49	31,3
OC44	0,117	0,47	0,16	0,14	0,78	8	146	34,5	1050	4,78	15,8	11,9	85,5	94,2	7	0,2	0,64	0,19	21,1
OC45	0,081	0,54	0,18	2,54	0,83	6	82	13,9	522	3,43	10,5	9,2	543	152	67,6	0,4	3,32	1,12	67,4
OC46	0,021	0,23	0,15	0,82	0,41	7,3	157	31	1050	5,62	11,2	9,3	165	124	22,6	0,8	1,44	0,47	31,3
OH01	0,037	0,53	0,14	0,72	0,88	8	197	36,5	732	7,34	12,6	14	164	150	28,6	0,05	2,06	0,37	32,8
OH02	0,031	0,46	0,18	1,09	1,09	6,9	140	23,4	681	4,86	10,9	12	232	159	31,2	0,1	1,73	0,56	41,3
OH03	0,035	0,41	0,14	0,31	0,9	9,1	169	28,7	915	6,13	13,6	12,4	89,8	130	14	1	1,31	0,17	25
OH04	0,039	0,38	0,2	0,42	0,93	7,5	175	30,9	626	6,09	11,1	11,7	105	143	19,2	0,5	1,66	0,29	26,3
OH05	0,035	0,41	0,17	0,43	1,19	8,2	163	30,8	657	5,84	11,1	12,1	174	186	17,2	1,3	1,41	0,41	26,9
OH06	0,045	0,39	0,15	0,26	1,28	7,6	192	35,2	665	6,31	12	12,4	115	181	11,4	0,05	1,55	0,2	26,1
OH07	0,051	0,49	0,19	0,44	1,08	10,1	179	35,9	738	6,38	14,6	14,4	107	136	17,4	0,05	1,44	0,44	26
OH08	0,035	0,4	0,21	0,26	0,8	6,5	136	20,6	603	4,57	9,8	9,5	84,8	108	11,7	0,3	1,23	0,19	18
OH09	0,047	0,48	0,2	1,05	1,13	7,5	140	28,6	945	5,36	11,5	12,8	270	201	25,9	1,1	2,05	0,59	43,5
OH10	0,061	0,55	0,12	0,16	1,1	8,4	142	23,3	660	5,31	11,6	11,5	37,8	111	14,6	0,1	1,01	0,1	14,7
OL01	0,059	0,55	0,17	0,54	0,81	7,2	208	38,8	901	7,36	13,9	14,4	206	185	18,2	0,2	1,21	0,31	30
OL02	0,04	0,42	0,25	0,55	0,57	6,3	158	29,2	766	5,55	11,8	10,8	185	143	18,2	0,05	0,98	0,38	28,3
OL03	0,037	0,46	0,17	0,91	0,9	7,2	216	39,8	985	7,76	13,2	14,2	232	211	23,8	0,05	1,62	0,56	41,6
OL04	0,05	0,5	0,19	0,71	0,92	7,3	198	38,2	859	7,35	13,6	14,1	285	186	21,4	0,05	1,21	0,43	34,8
OL05	0,039	0,51	0,16	0,79	0,74	7,9	226	43,9	862	7,96	15,1	15,2	288	474	23,9	0,05	1,46	0,44	37,8
OL06	0,036	0,42	0,18	0,75	0,51	5,2	137	25,3	516	4,61	9,9	9,7	241	103	24,1	0,05	1,05	0,44	32,7
OL07	0,048	0,54	0,22	1	0,78	6,3	187	32,1	720	6,57	12,6	13,2	416	209	25,8	0,05	1,73	0,59	50,1
OL08	0,068	0,5	0,36	0,33	0,93	7,2	148	29,6	643	5,12	12,2	11,8	174	119	14,2	0,05	1,4	0,22	20,7
OL09	0,046	0,49	0,26	0,78	0,76	9,4	194	36,1	1010	6,89	14,9	13,9	284	167	26,9	0,05	1,86	0,45	31,6
OL10	0,043	0,57	0,26	0,39	0,7	7,1	183	34,6	718	6,31	13	12,5	190	144	15,3	0,05	1,24	0,4	34,2
OL11	0,038	0,42	0,23	0,26	0,66	6,9	143	26,4	661	5,08	11,4	10,2	121	113	10,5	0,05	0,83	0,21	15,8
OL12	0,051	0,68	0,49	0,67	0,7	8,8	138	29,8	731	5,09	16,4	14,6	375	156	26,9	0,9	1,8	0,39	35,1
OL13	0,043	0,48	0,24	0,27	0,69	6	148	26,3	585	4,79	11,2	9,5	201	114	12,4	0,9	1,3	0,15	16,1
OL14	0,041	0,76	0,5	0,25	0,71	8,8	130	27,2	797	4,77	17,1	12,8	214	135	13,4	0,7	1	0,23	18,6
OL15	0,038	0,47	0,16	0,56	0,64	7	170	28,4	685	6,2	11,8	12,7	206	146	21,7	0,6	1,24	0,4	25,7
OL16	0,041	0,5	0,2	0,88	0,91	7,8	197	35,7	765	6,76	13,3	14,2	309	172	23,7	0,5	1,6	0,54	37,8
OL17	0,042	0,45	0,16	0,79	0,66	7,9	204	37,7	685	6,8	13	14,2	309	162	28,3	0,8	1,79	0,54	41,8
OL18	0,043	0,46	0,18	1,31	0,72	9,1	209	38,5	758	6,74	14,2	14,4	445	173	42,5	0,7	2,41	0,94	57
OL19	0,052	0,46	0,18	0,71	0,81	8,3	175	33	875	6,21	13,4	14	284	168	24,6	0,7	1,81	0,5	39,4
OL20	0,038	0,54	0,16	0,98	0,74	7,1	152	26,6	908	5,61	11,4	11,9	331	151	40,1	1	1,98	0,91	38,1
OL21	0,043	0,58	0,17	0,83	0,91	8,6	226	42,7	1080	7,79	13,9	13,9	302	156	38,3	0,7	2,06	0,64	34,1
OL22	0,047	0,55	0,24	1,16	1,04	7,7	195	40,2	862	7,35	13	14,9	347	203	23,6	0,7	1,83	0,55	46,5
OL23	0,039	0,56	0,18	0,8	0,9	8	253	46,3	956	8,54	13,9	14,7	302	191	25,4	1	1,79	0,47	37,2
OL24	0,032	0,43	0,15	0,51	0,64	7,5	237	41,5	759	7,71	11,9	12,4	130	143	22,6	1,1	1,46	0,38	30,6
OL25	0,038	0,49	0,13	0,84	0,56	8,3	241	43,6	783	7,79	13,7	13,5	195	148	24,4	0,8	1,63	0,44	43,1
OL26	0,042	0,53	0,16	0,32	0,77	9	182	32,1	768	6,67	12,1	12,7	114	129	16,2	0,9	1	0,19	17,6
OQ01	0,086	0,54	0,35	0,19	0,77	10	202	36,7	863	6,57	15,9	13,8	126	129	13,2	0,5	1,18	0,19	23,8
OQ02	0,06	0,37	0,19	0,2	0,56	8,5	156	30,3	680	5,32	12	11,6	111	107	12	0,6	1,03	0,12	20,1
OQ03	0,041	0,44	0,26	0,28	0,75	7	203	38,5	923	6,61	13,7	12,1	106	146	12,9	0,8	0,9	0,25	23,3
OQ04	0,048	0,5	0,31	0,43	1,39	7,6	166	31,6	700	5,58	14	13,5	244	190	16,7	0,6	1,5	0,3	45,9
OQ05	0,053	0,52	0,33	0,28	0,86	5	140	25,2	598	4,59	12,5	10,2	248	144	12,4	0,5	1,95	0,26	24
OQ06	0,033	0,42	0,23	0,55	0,56	4,6	106	31,9	441	3,97	11,6	10	504	251	19,7	0,4	7,11	0,26	45,8
OQ07	0,037	0,5	0,41	0,37	0,63	8,2	142	27,1	595	4,97	14,1	11,1	290	155	14,7	0,5	1,5	0,24	44,6

Codigo	Na %	Mg %	K %	Bi ppm	Ca %	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Fe %	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Se ppm	Mo ppm	Cd ppm	Pb ppm
OQ08	0,043	0,54	0,37	0,84	1,64	7,4	137	30,4	718	4,84	15	13,5	340	263	16,1	0,7	1,52	0,38	49,4
OQ09	0,036	0,46	0,24	0,2	0,52	8,2	202	37,2	718	6,5	13,6	11,7	115	145	12	1,2	0,94	0,14	19,7
OQ10	0,037	0,42	0,19	0,29	1	8,3	266	52,8	1060	9,29	15,3	15,6	88,3	189	14,6	0,9	1,08	0,54	18,4
OQ11	0,043	0,49	0,33	0,26	1,09	6,2	141	33,3	619	4,82	13,7	12,4	259	213	11,2	0,8	1,55	0,34	37,8
OQ12	0,053	0,44	0,31	0,69	0,97	7,3	126	26,4	638	4,3	12,6	11,7	305	237	16,4	1	1,62	0,48	50,6
OQ13	0,04	0,65	0,49	0,57	0,8	9,6	145	31	739	5,26	17,5	13,6	323	176	17	0,6	1,49	0,51	41,2
OQ14	0,044	0,41	0,25	1,14	0,81	6,7	139	29,2	591	4,94	11,9	9,5	135	153	12,1	0,7	0,82	0,28	35,6
OQ15	0,1	0,52	0,3	0,38	1,16	9,3	128	35,5	590	4,46	11,9	12,8	254	125	17	0,8	1,34	0,42	22,6
OQ16	0,036	0,46	0,29	0,28	0,8	8	168	31	798	5,7	14,5	11,6	151	126	14,2	0,6	1,1	0,24	20,9
OQ17	0,064	0,5	0,37	0,74	1,03	6,7	128	31,8	760	4,69	13,8	16,9	368	342	20	0,3	1,74	0,56	95,8
OQ18	0,036	0,42	0,25	0,7	0,53	7,5	148	29,9	632	5,07	11,8	10,2	284	152	28,5	0,5	1,52	0,46	44,1
OQ19	0,061	0,4	0,26	0,24	0,81	5,7	144	30,5	554	4,99	10,2	10,4	186	138	11,6	1,1	1,3	0,18	28
OQ20	0,061	0,41	0,22	1,17	1,05	5	109	29,8	594	3,81	9,9	11,3	418	198	28,3	1	1,76	0,82	60,8
OQ21	0,206	0,42	0,27	480	2	3,4	101	54,1	511	3,48	8,7	18,1	1180	332	305	0,9	2,31	2,47	917
OQ22	0,034	0,42	0,23	1,29	0,66	5,9	123	26,5	489	4,19	11,2	8,5	133	157	8,6	1,1	0,73	2,76	50,5
OQ23	0,041	0,69	0,41	1,45	0,71	9,3	122	24,2	677	4,05	15,6	11,7	226	108	8,8	0,7	1,01	0,17	21,7
OV01	0,033	1,16	0,52	1,32	0,94	10,2	121	31,5	1720	5,51	18,8	15,7	1870	592	36,1	0,9	8,23	0,96	56,4
OV02	0,047	0,52	0,19	1,66	0,66	9,8	112	25,8	367	3,84	9,6	12	827	157	46,6	1,1	3,39	0,84	70,8
OV03	0,038	0,39	0,27	1,18	0,77	6,2	84	22	433	3,31	8,7	10,6	1140	251	32,6	0,9	4,14	1,06	69,2
OV04	0,081	0,58	0,27	0,3	0,76	9,4	153	30	888	5,76	13,1	10,7	225	119	10,9	0,9	0,99	0,14	16,6
OV05	0,053	0,45	0,13	0,24	0,58	9	186	39,8	720	6,87	13,3	12,6	93,9	108	10	1,1	0,61	0,1	20,2
OV06	0,035	0,3	0,15	1,39	0,51	10,2	197	40,3	1370	6,89	16	15,7	462	169	51,2	2,1	2,61	0,85	52,1
OV07	0,035	0,27	0,18	1,34	0,58	7,2	154	32,2	1050	5,69	11,9	12,7	382	147	69	1,3	2,67	0,93	52,8
OV08	0,041	0,63	0,21	0,22	0,94	7,5	161	32,9	810	5,56	15,2	12,7	132	120	10,7	0,9	0,7	0,25	18,3
OV09	0,054	0,37	0,23	0,72	0,75	8,2	134	32,7	587	5,03	11,7	12,4	645	286	24,3	1	2,55	0,93	65,3
SL01	0,038	0,48	0,14	0,49	0,74	7,2	219	42,1	863	7,54	14,4	13,5	186	193	17,2	1,1	1,56	0,23	22,4
SL02	0,034	0,45	0,19	0,44	0,69	6,7	206	37,8	755	7,35	12	12,6	128	144	19,6	1,1	1,61	0,28	20,3
SL03	0,039	0,48	0,24	0,27	0,76	9,5	273	66,9	1010	9,28	15,7	16,1	90,4	164	15,7	1	1,53	0,2	16,4
SL04	0,031	0,47	0,14	0,25	0,57	6,8	211	39,3	749	7,74	12,7	13,5	91,6	143	13,9	1,3	1,13	0,16	16,7
SL05	0,041	0,5	0,2	2,05	1,27	7,1	204	88,8	828	7,15	14,4	14,3	240	383	87,4	1,1	1,42	0,42	33,7
SL06	0,049	0,46	0,17	0,41	1,09	6	171	29,8	699	5,79	10,9	11,6	205	165	18,2	1,5	1,25	0,28	21,4
SL07	0,037	0,56	0,18	0,38	0,77	7,5	228	46,6	882	7,95	14,3	15	165	169	18,3	1	1,47	0,29	20,9
SL08	0,037	0,46	0,17	0,4	0,63	7,5	210	39,8	736	7,27	12,8	13,3	164	148	16,3	1,3	1,3	0,32	20,7
SL09	0,041	0,44	0,22	0,5	0,69	7,6	188	36,3	859	6,58	12,6	12,9	189	167	16,2	1,4	1,04	0,33	23,7
SL10	0,046	0,48	0,17	0,72	0,73	7,8	213	44,2	900	7,93	14,4	13,9	219	164	24	0,9	1,32	0,45	30,4
SL11	0,036	0,42	0,17	1,03	0,68	7,6	232	46,2	821	7,95	13,4	14,6	288	187	34,6	1,2	2,4	0,65	40,1
SL12	0,038	0,48	0,18	0,83	0,61	7,5	173	30,9	843	6,24	13,3	13,3	269	162	35,8	0,9	1,73	0,64	31,9
SP01	0,036	0,39	0,28	0,34	1,73	7,4	117	25,5	887	4,41	11,9	11,6	135	151	12,5	1,7	0,97	0,77	18,5
SP02	0,031	0,45	0,38	0,79	0,81	6,7	108	29,6	874	4,05	13,5	11,9	597	195	15,5	1,3	3,23	0,5	63,5
SP03	0,032	0,6	0,46	0,88	0,81	9	121	33,3	1180	4,24	18,2	16,4	391	267	22,9	1	2,19	0,78	60,2
SP04	0,024	0,27	0,23	0,35	0,54	8	132	28,5	846	5,23	12,7	10,5	188	632	9,9	1,2	1,04	1,04	29,3
SP05	0,037	0,46	0,22	0,76	0,66	7,3	96	26,3	855	3,79	12,4	9	433	158	18,1	0,7	2,83	0,5	42,3
SP06	0,035	0,37	0,2	0,23	0,81	5,1	112	22,6	516	4	8,4	8,2	257	132	9,4	0,8	1,55	0,18	18,6
SP07	0,036	0,27	0,24	0,61	1,19	5,3	113	25,7	1010	3,95	9,8	7,3	231	134	26,8	0,9	1,91	0,43	34,1
SP08	0,037	0,41	0,18	0,43	0,68	7	115	23,9	647	4,27	10,8	9,3	263	135	15,2	0,5	2,01	0,25	23,7
SP09	0,039	0,39	0,19	0,59	0,77	5,9	97	22,1	652	3,79	10,8	9,7	363	153	15	1	2,22	0,42	33,6
SP10	0,041	0,53	0,28	1,21	1,12	9,9	125	30,1	854	4,88	14,9	16,3	447	267	19,4	0,5	2,53	0,83	52
SP11	0,035	0,67	0,41	0,46	0,86	7,5	100	23,1	1130	4,6	14,5	10,3	317	198	19,4	0,7	1,72	0,47	37,6
SP12	0,041	0,81	0,2	0,24	1,33	12,3	153	45,3	3040	5,24	18,8	23,5	206	202	8,9	1,2	1,26	0,24	27,2
SP13	0,07	0,93	0,33	0,22	1,27	13,5	165	47,6	1360	5,5	21,4	22,8	205	233	8	1,2	0,62	0,28	34,7
SP14	0,068	0,41	0,27	0,46	0,66	8	124	28,5	855	4,66	14,3	10,6	259	210	10,7	1,2	1,62	0,25	57,2
SP15	0,043	0,56	0,14	0,16	0,83	11,8	149	28,1	887	5,13	14,3	12,9	131	114	10,1	0,9	1,01	0,14	15,3

C. Histogramas con concentraciones máximas aceptables

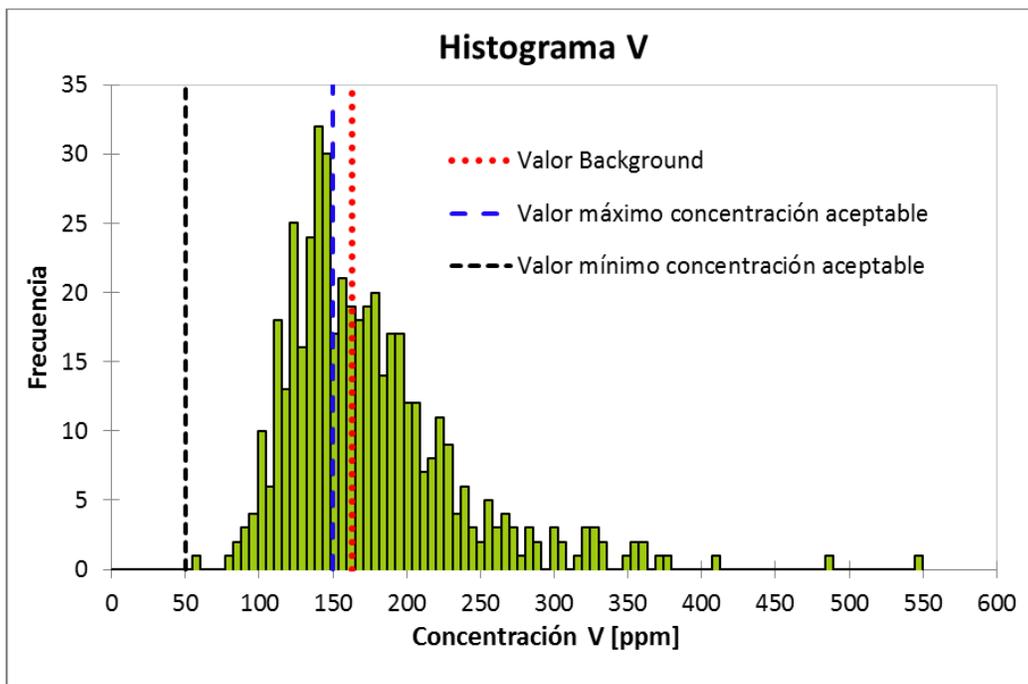


Figura C.1: Histograma de V para muestras urbanas y no urbanas.

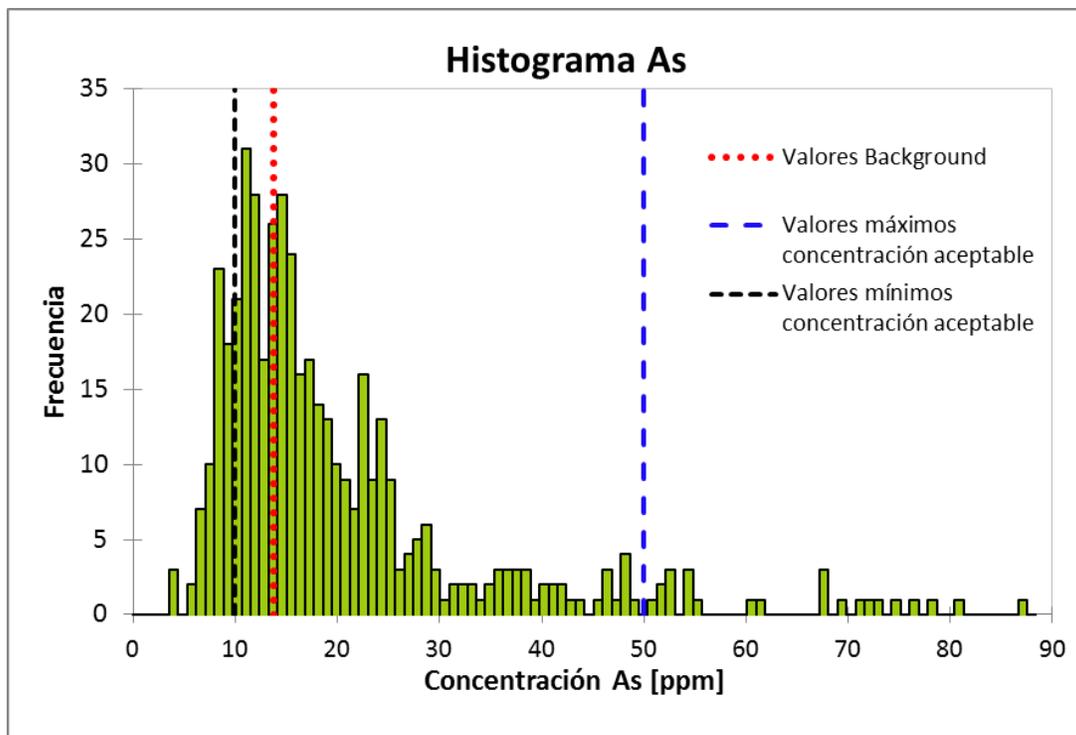


Figura C.2: Histograma de As para muestras urbanas y no urbanas. Se omiten en el histograma 9 muestras mayores a 100 ppm para mejor visualización de la distribución.

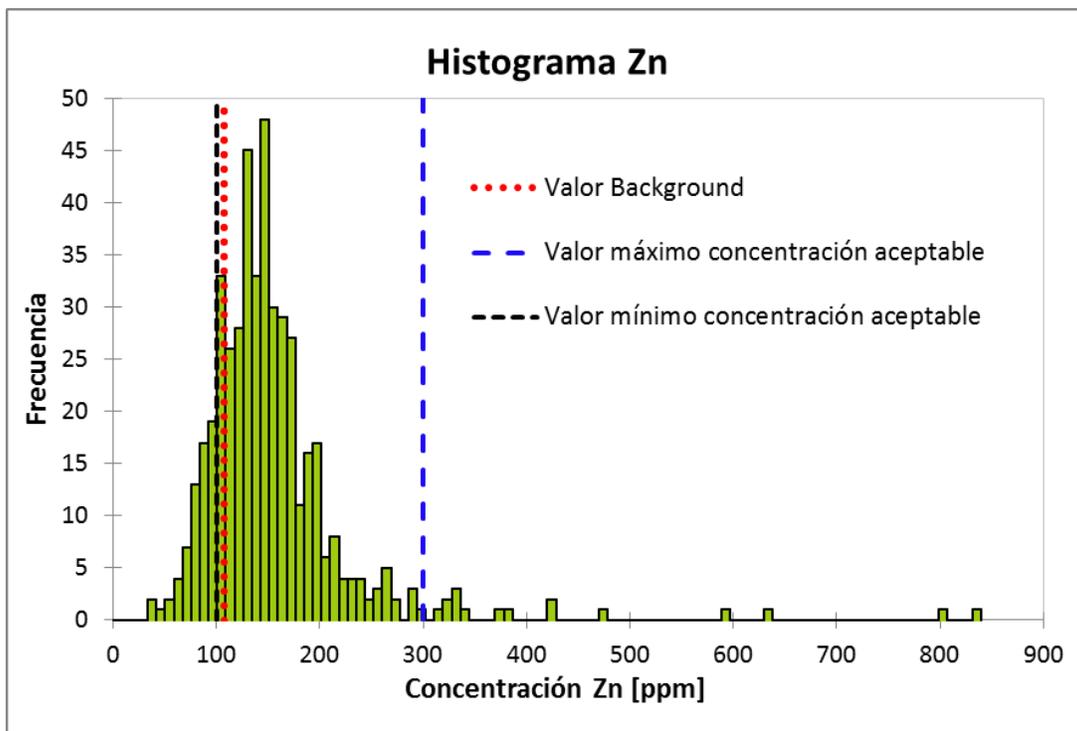


Figura C.3: Histograma de Zn para muestras urbanas y no urbanas.

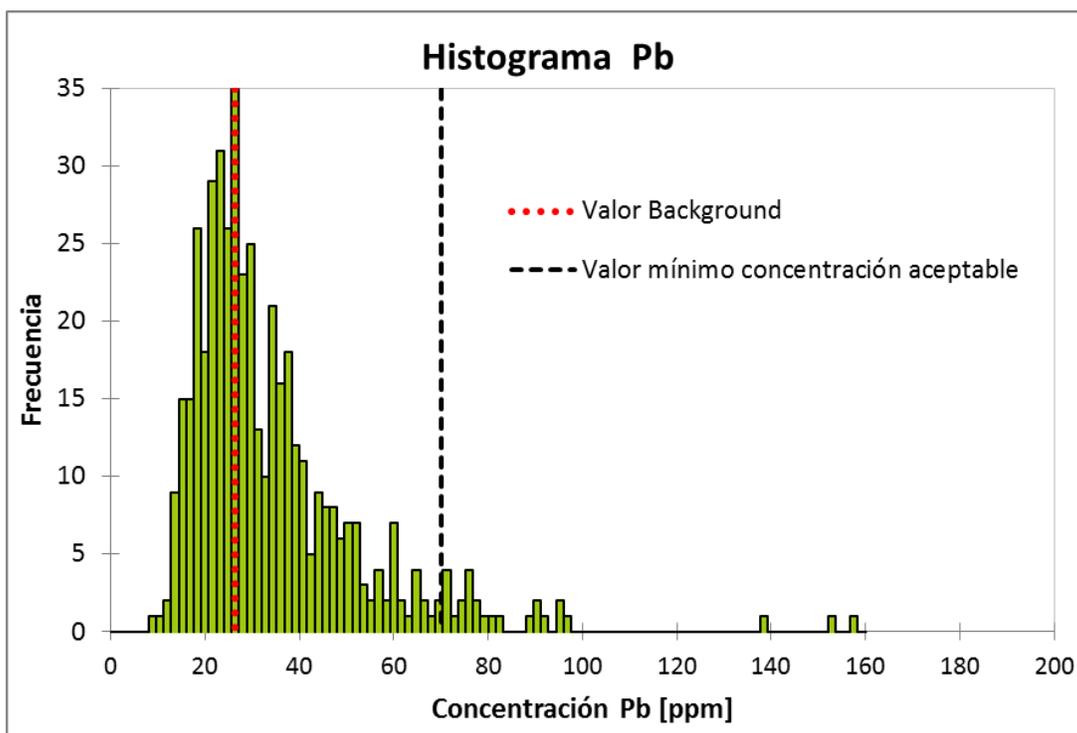


Figura C.4: Histograma de Pb para muestras urbanas y no urbanas. Se omiten en el histograma 3 muestras mayores a 200 ppm para mejor visualización de la distribución.

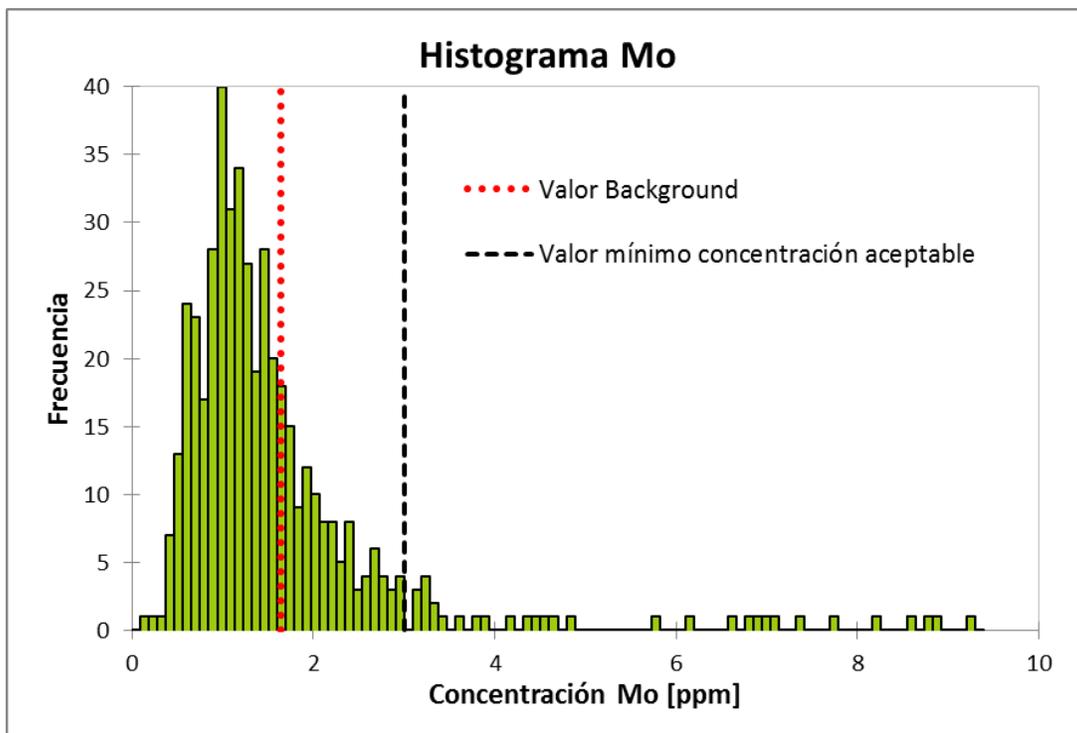


Figura C.5: Histograma de Mo para muestras urbanas y no urbanas. Se omiten en el histograma 2 muestras mayores a 10 ppm para mejor visualización de la distribución.

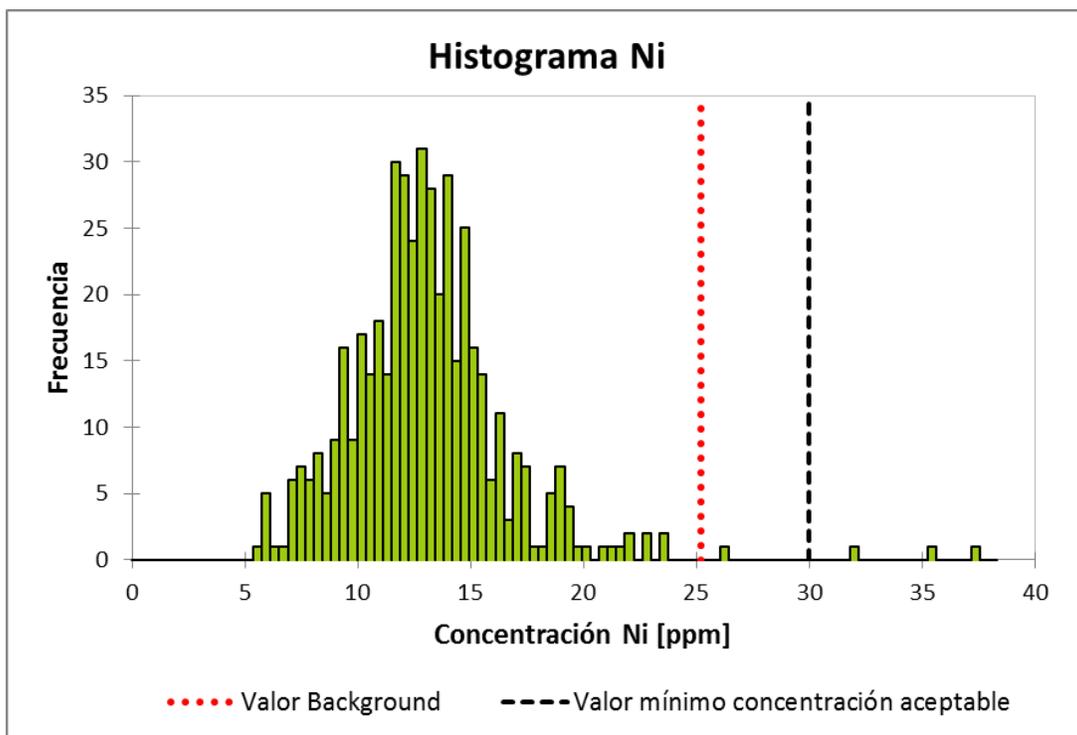


Figura C.6: Histograma de Ni para muestras urbanas y no urbanas.

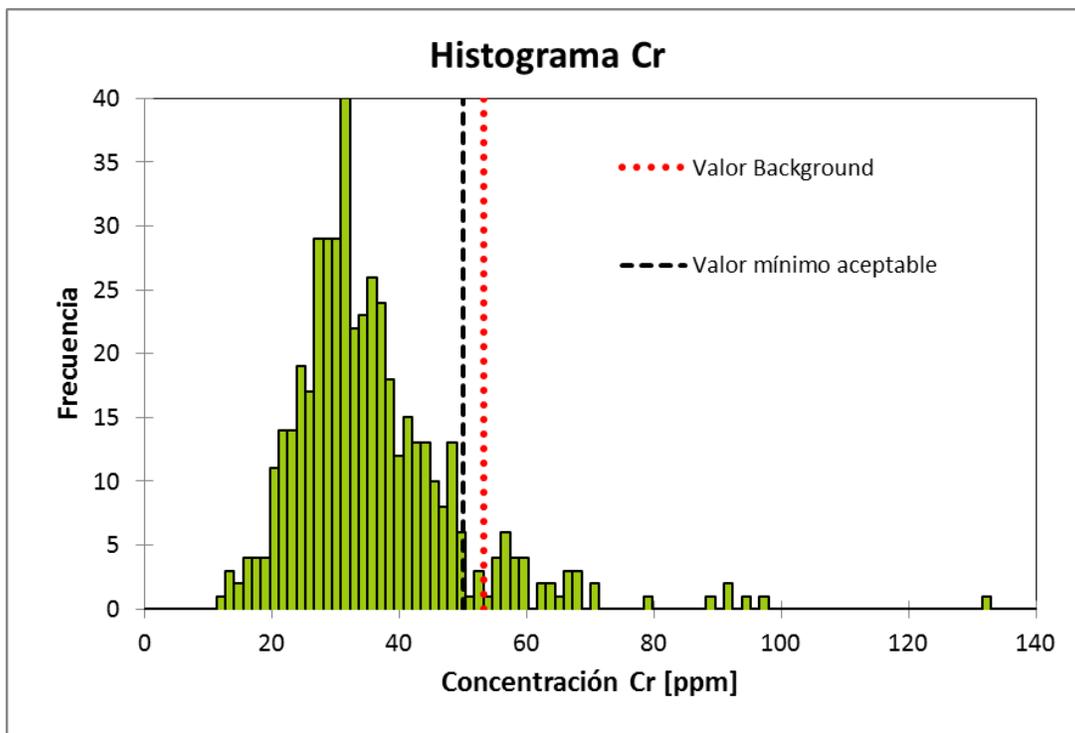


Figura C.7: Histograma de Cr para muestras urbanas y no urbanas.

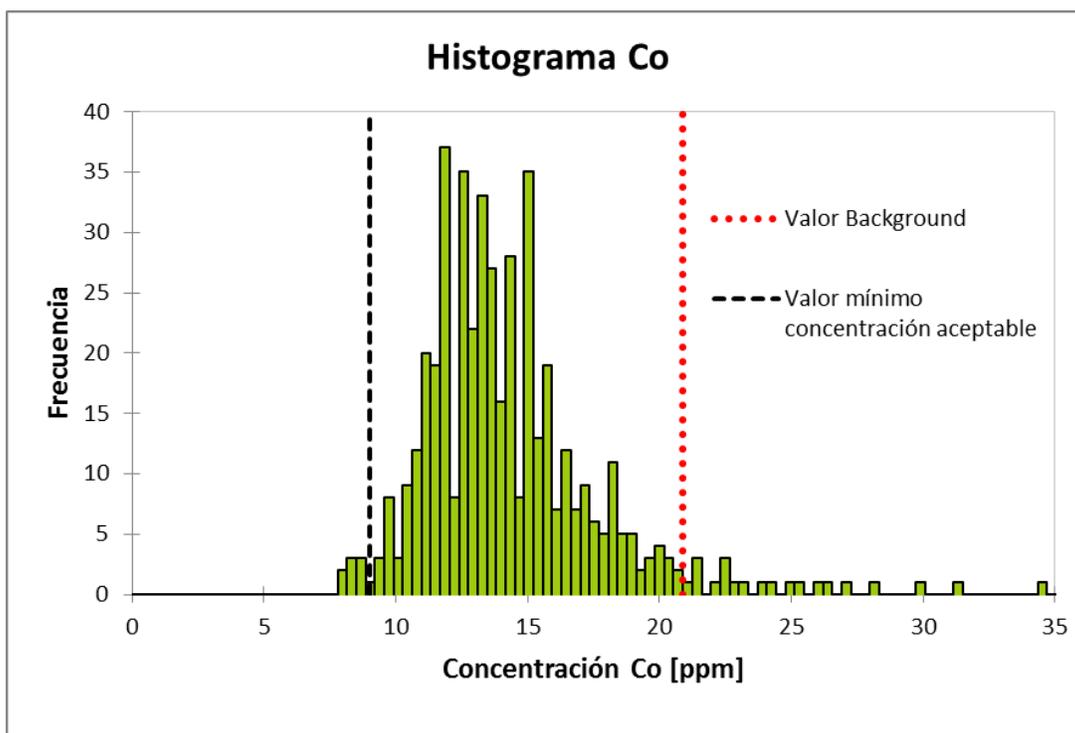


Figura C.8: Histograma de Co para muestras urbanas y no urbanas.

D. Diagramas de Caja

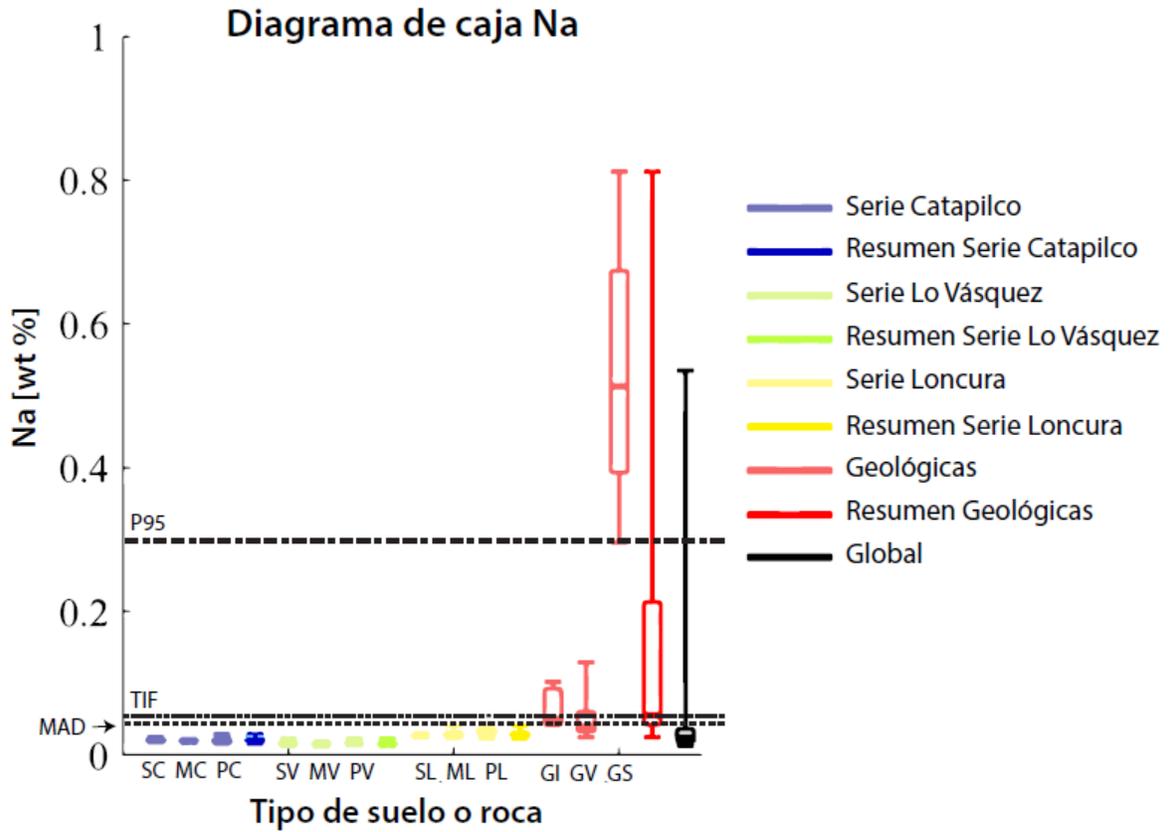


Figura D.1: Diagrama de caja Na para series agrológicas y muestras geológicas.

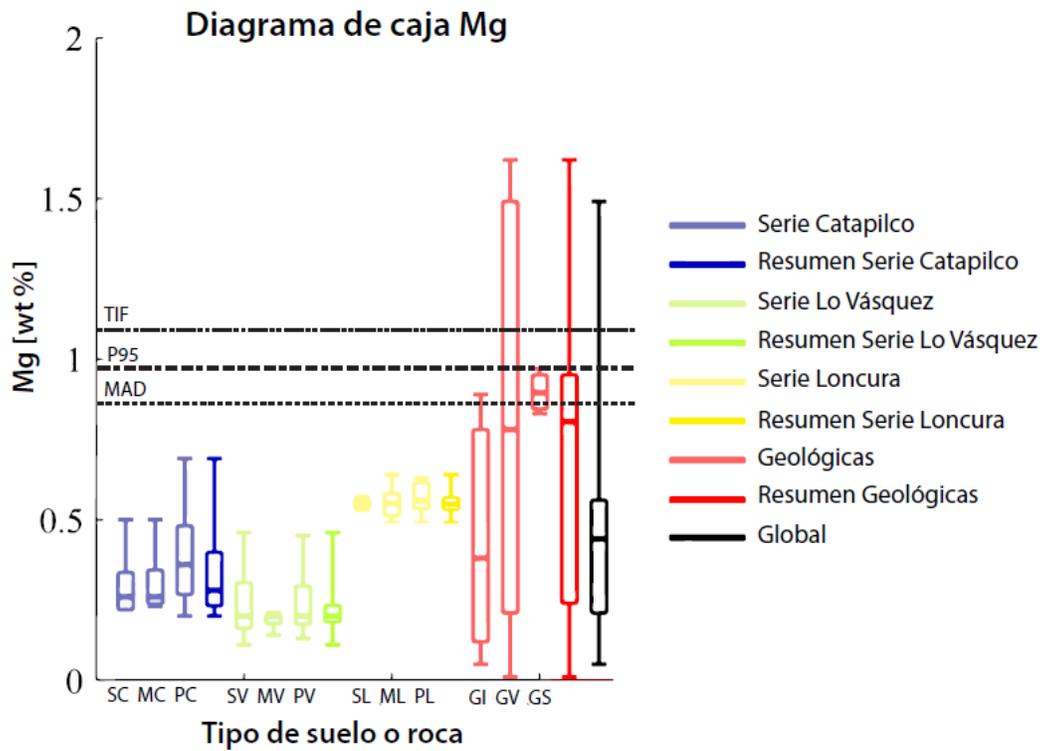


Figura D.2: Diagrama de caja Mg para series agrológicas y muestras geológicas.

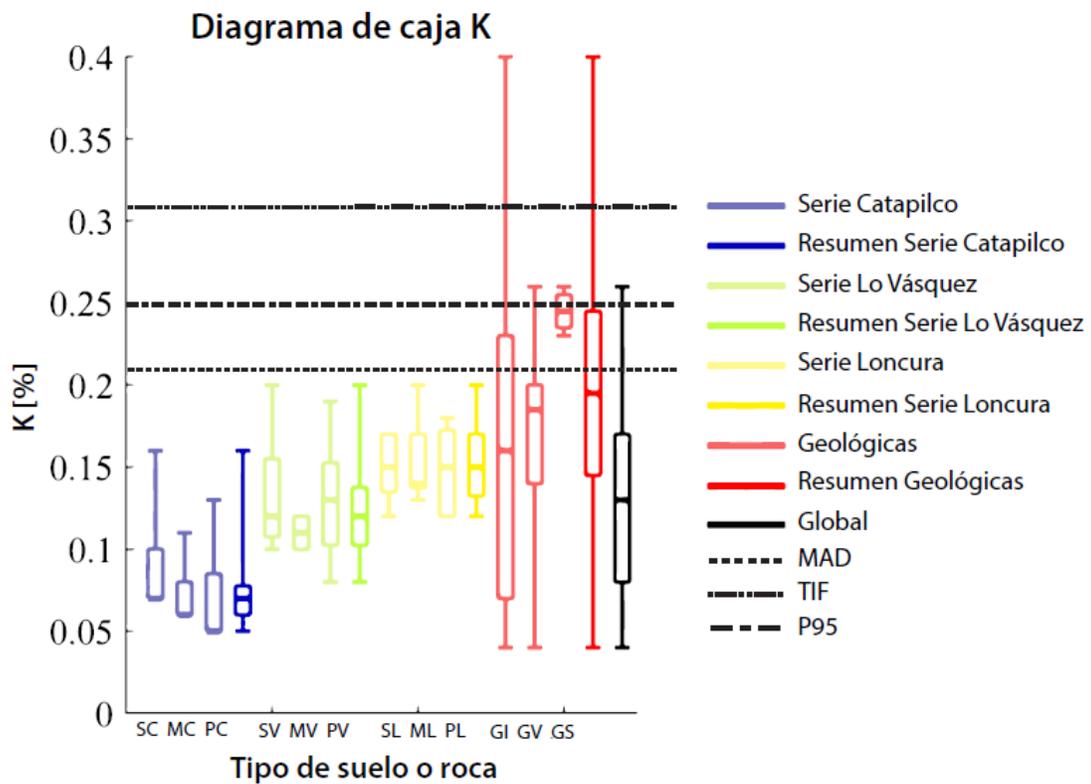


Figura D.3: Diagrama de caja K para series agrológicas y muestras geológicas.

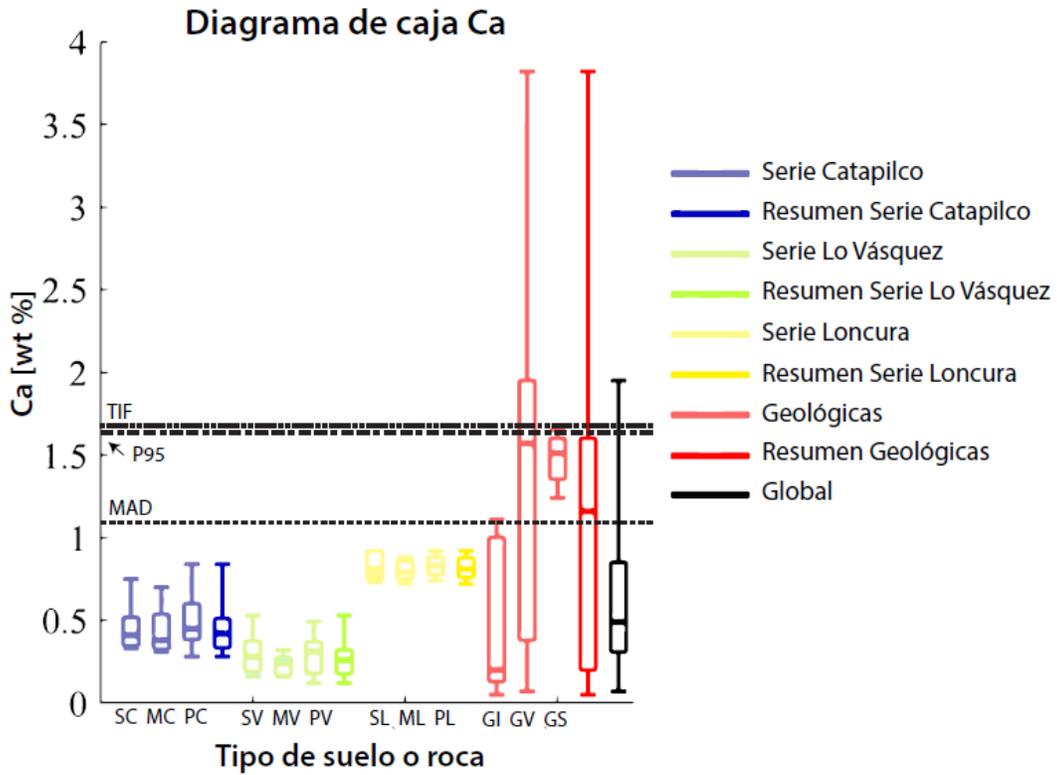


Figura D.4: Diagrama de caja Ca para series agrológicas y muestras geológicas.

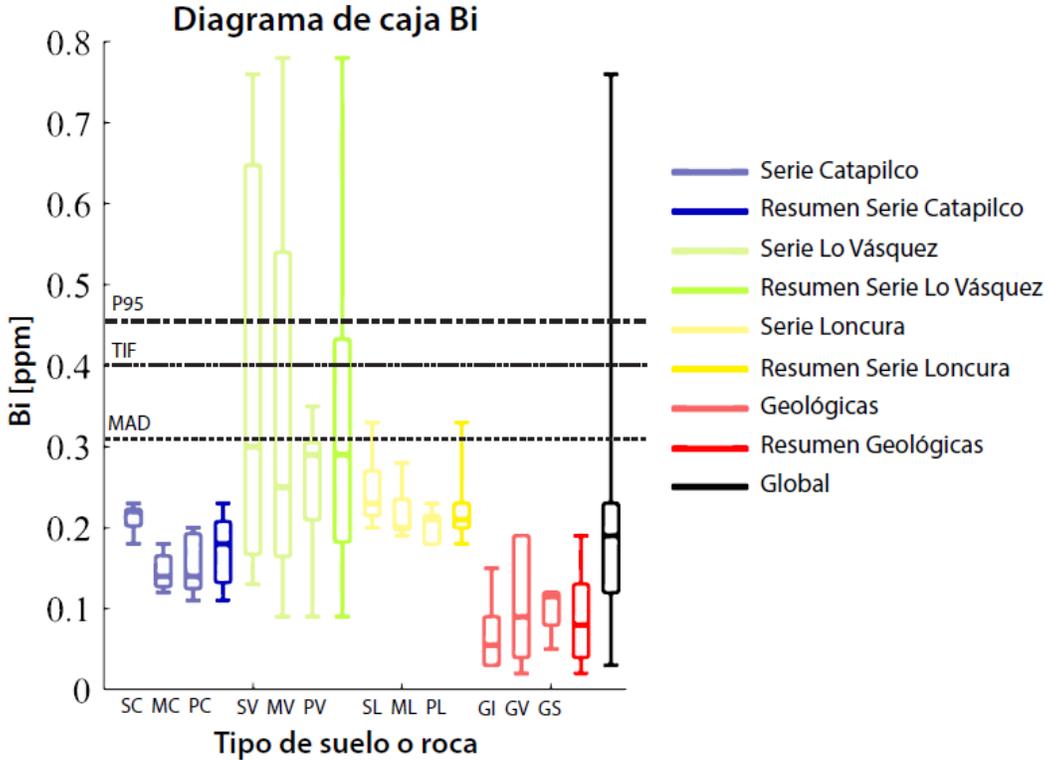


Figura D.5: Diagrama de caja Bi para series agrológicas y muestras geológicas.

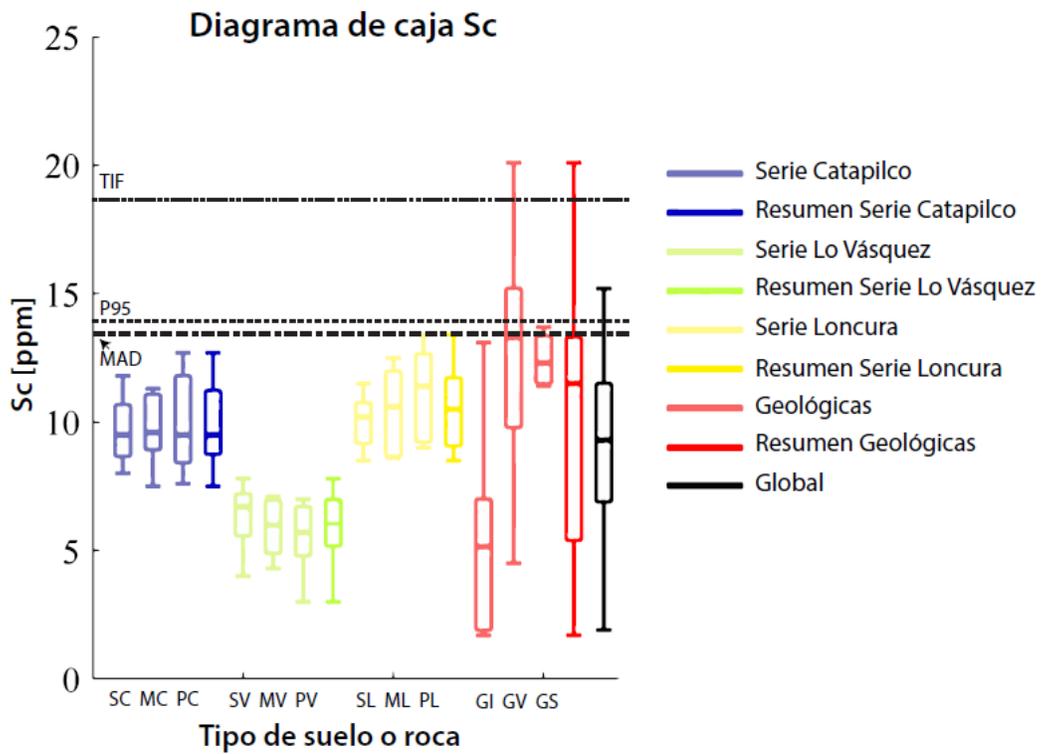


Figura D.6: Diagrama de caja Sc para series agrológicas y muestras geológicas.

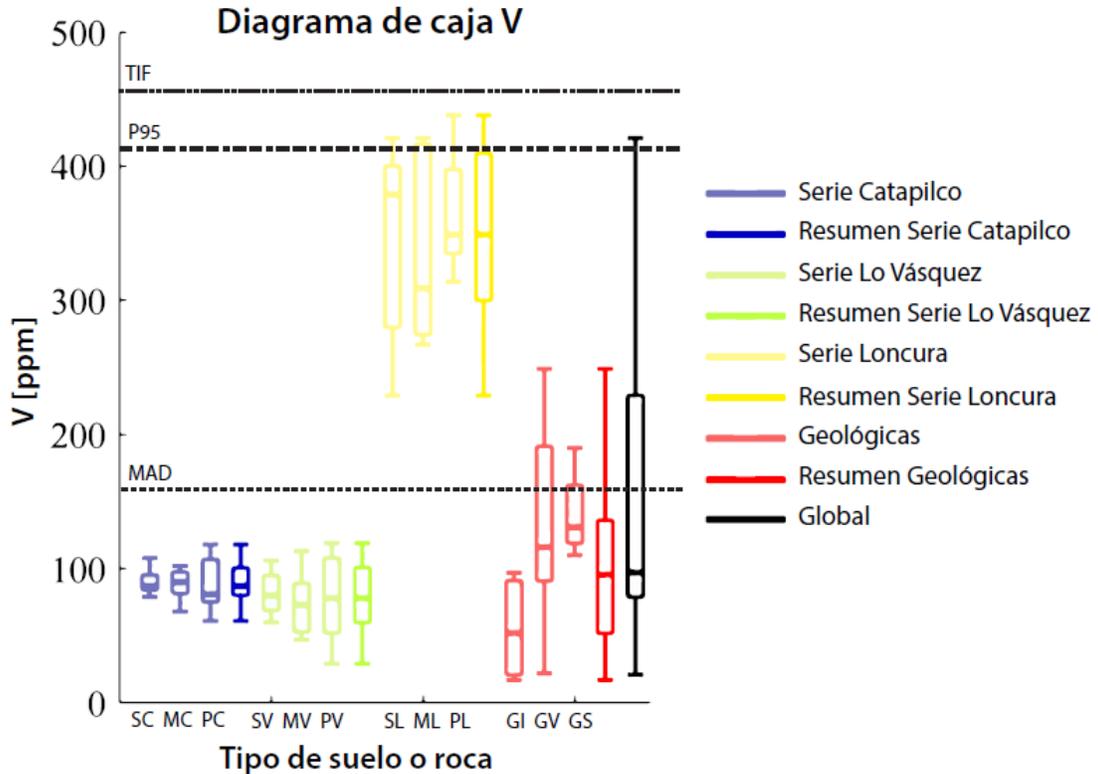


Figura D.7: Diagrama de caja V para series agrológicas y muestras geológicas.

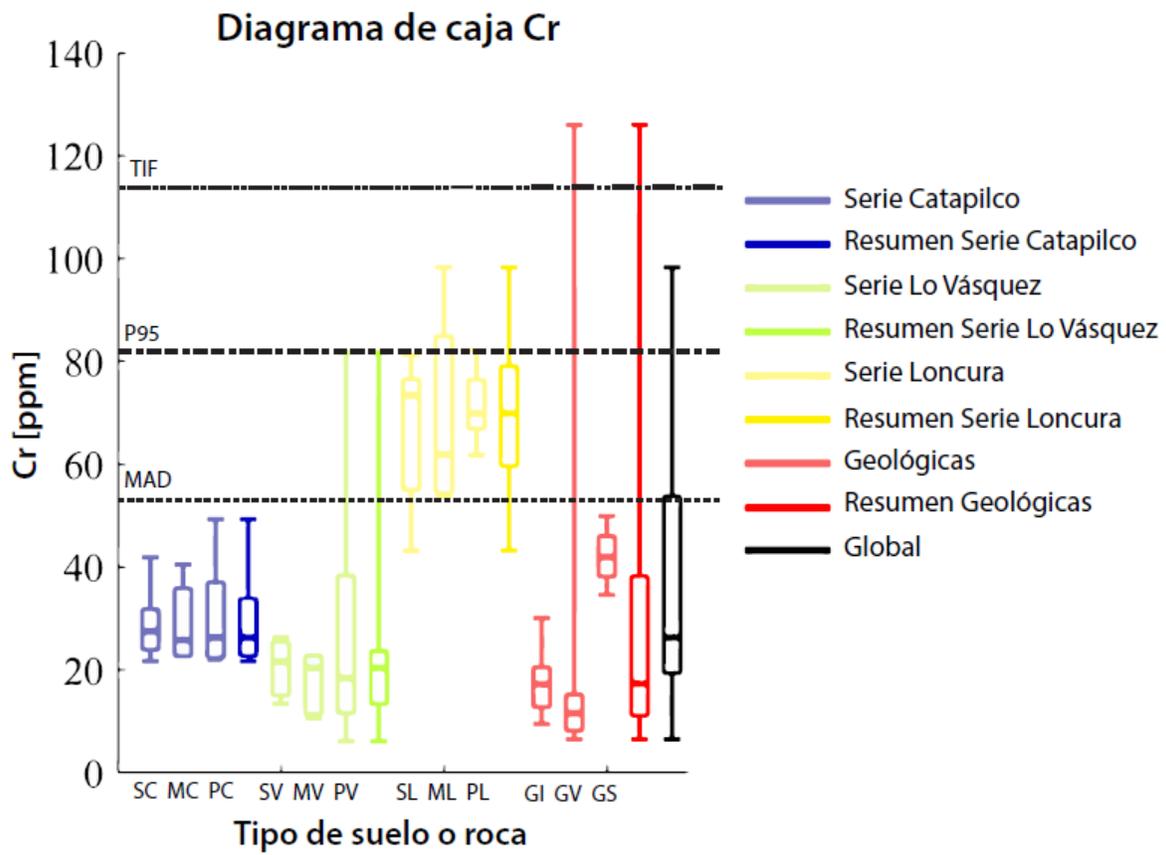


Figura D.8: Diagrama de caja Cr para series agrológicas y muestras geológicas.

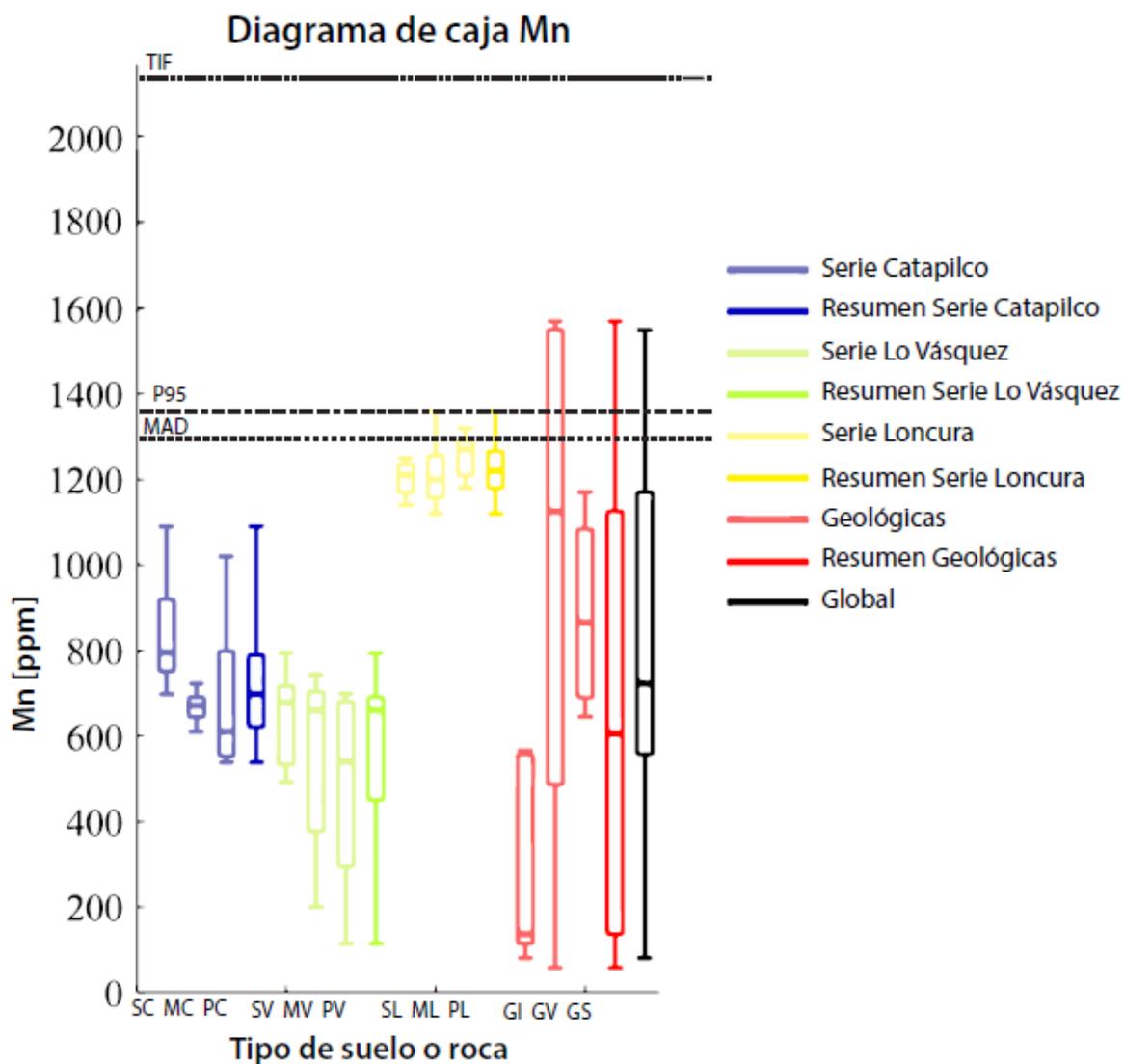


Figura D.9: Diagrama de caja Mn para series agrológicas y muestras geológicas.

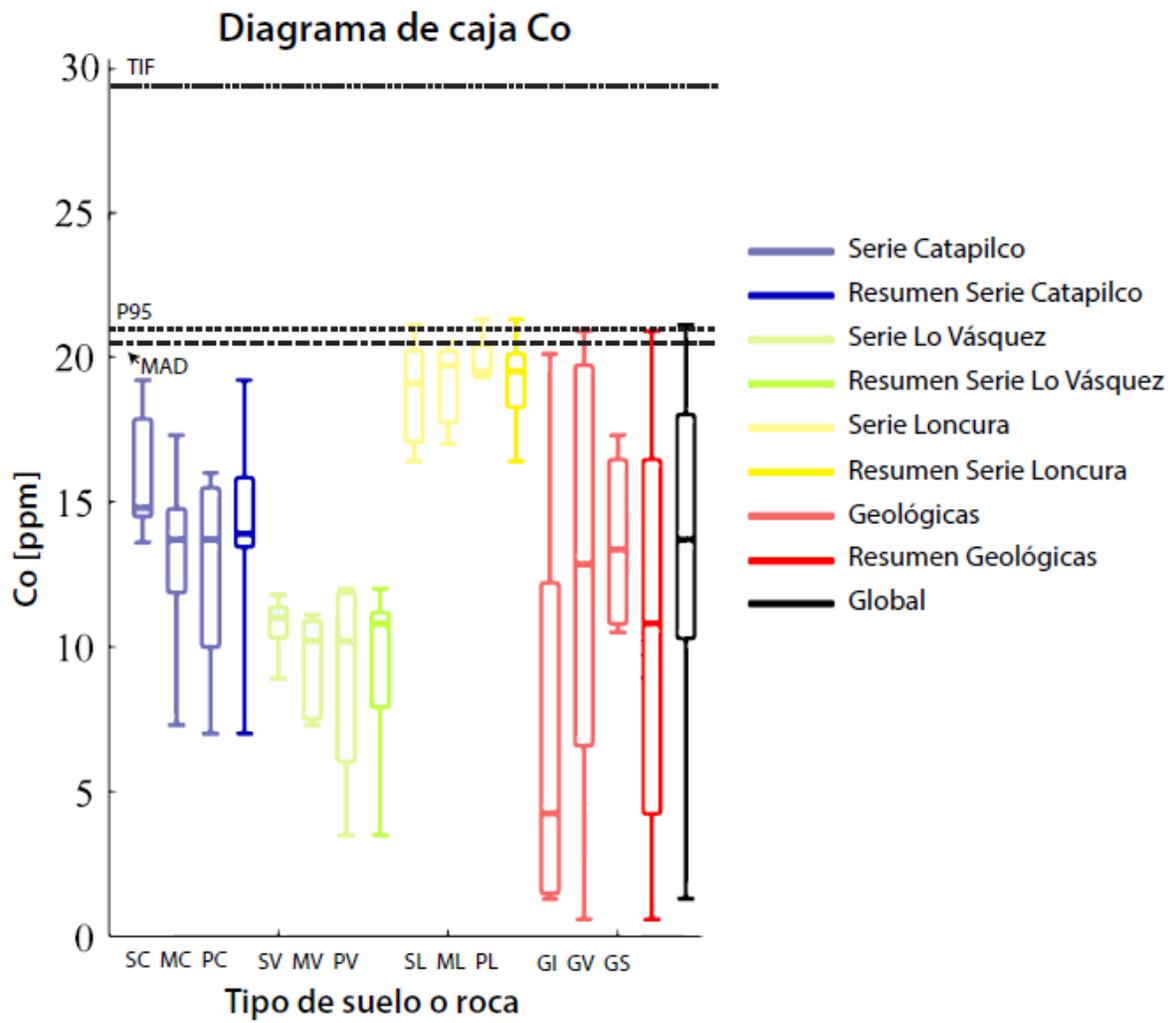


Figura D.10: Diagrama de caja Co para series agrológicas y muestras geológicas.

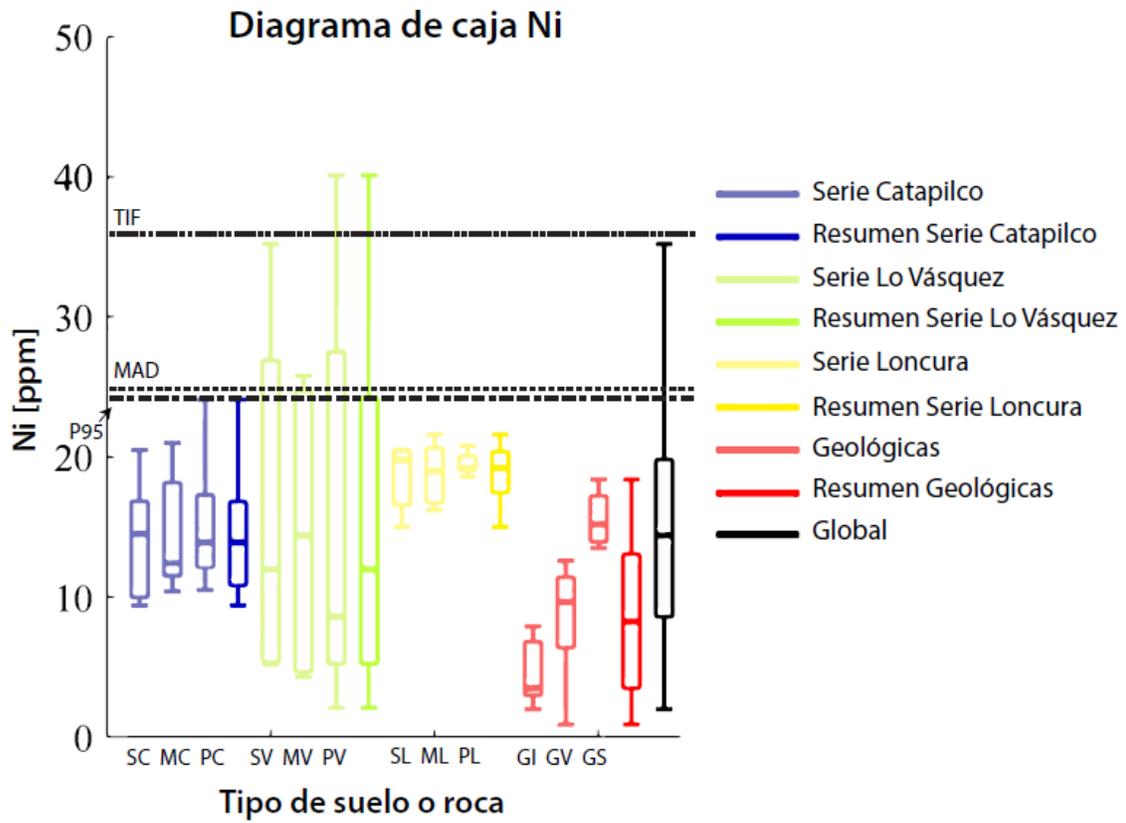


Figura D.11: Diagrama de caja Ni para series agrológicas y muestras geológicas.

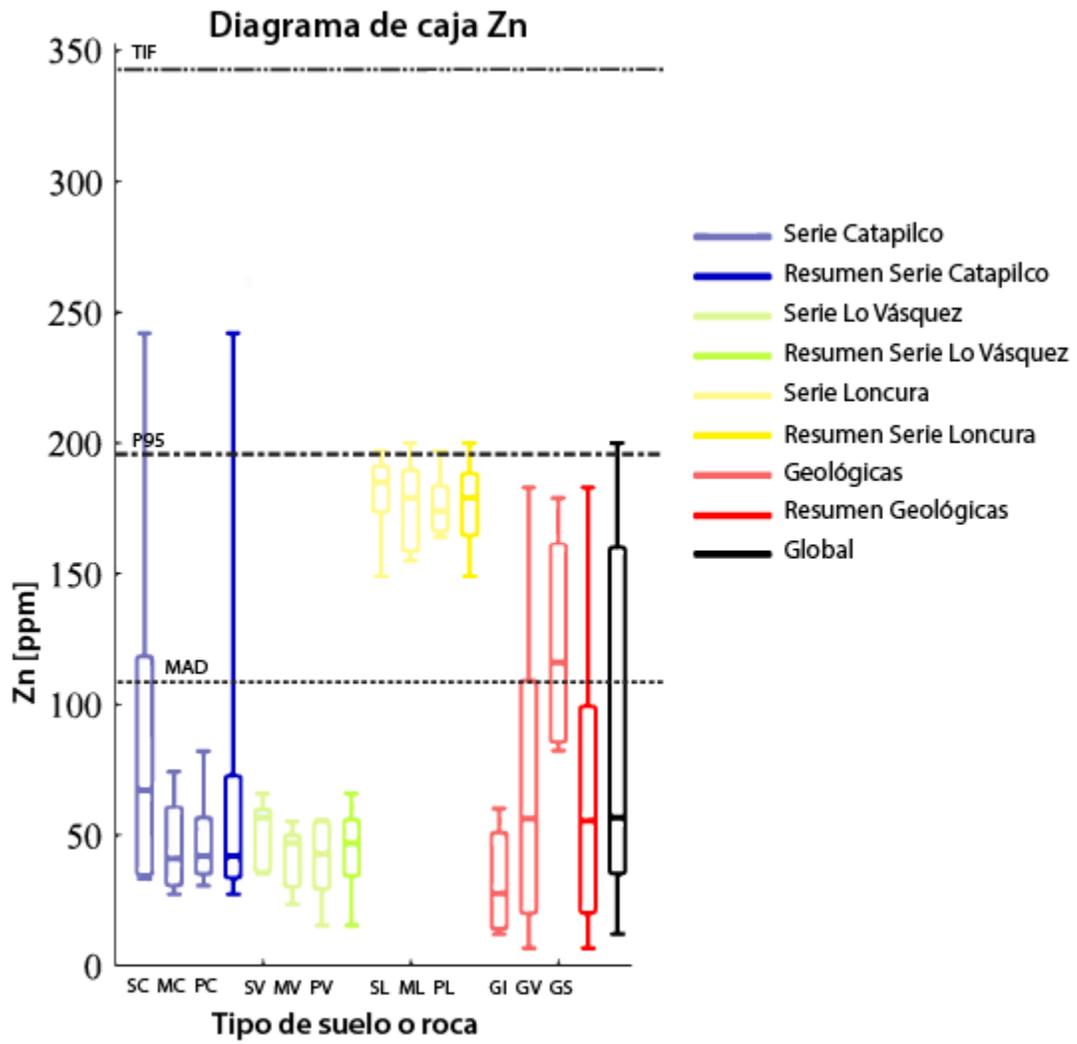


Figura D.12: Diagrama de caja Zn para series agrológicas y muestras geológicas.

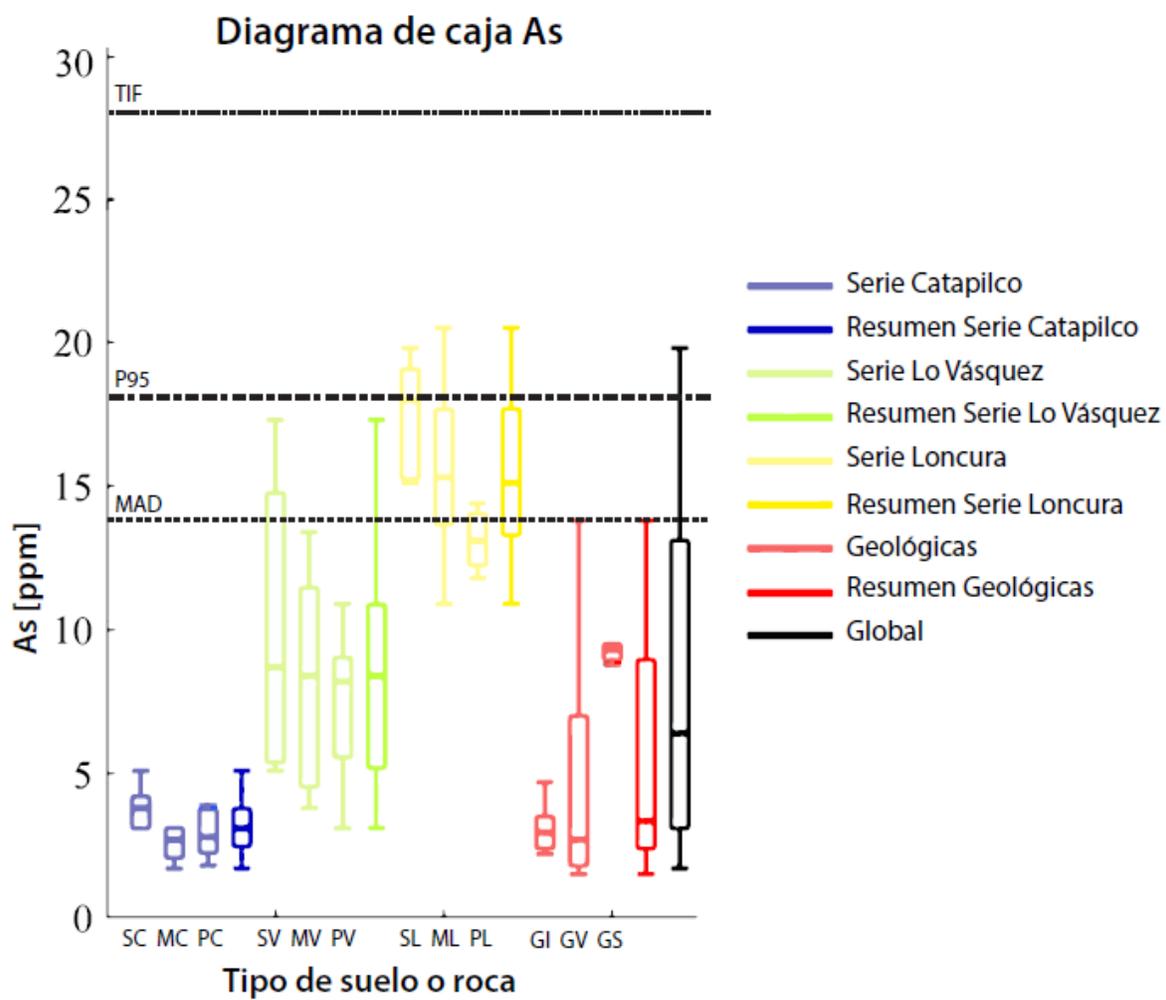


Figura D.13: Diagrama de caja As para series agrológicas y muestras geológicas.

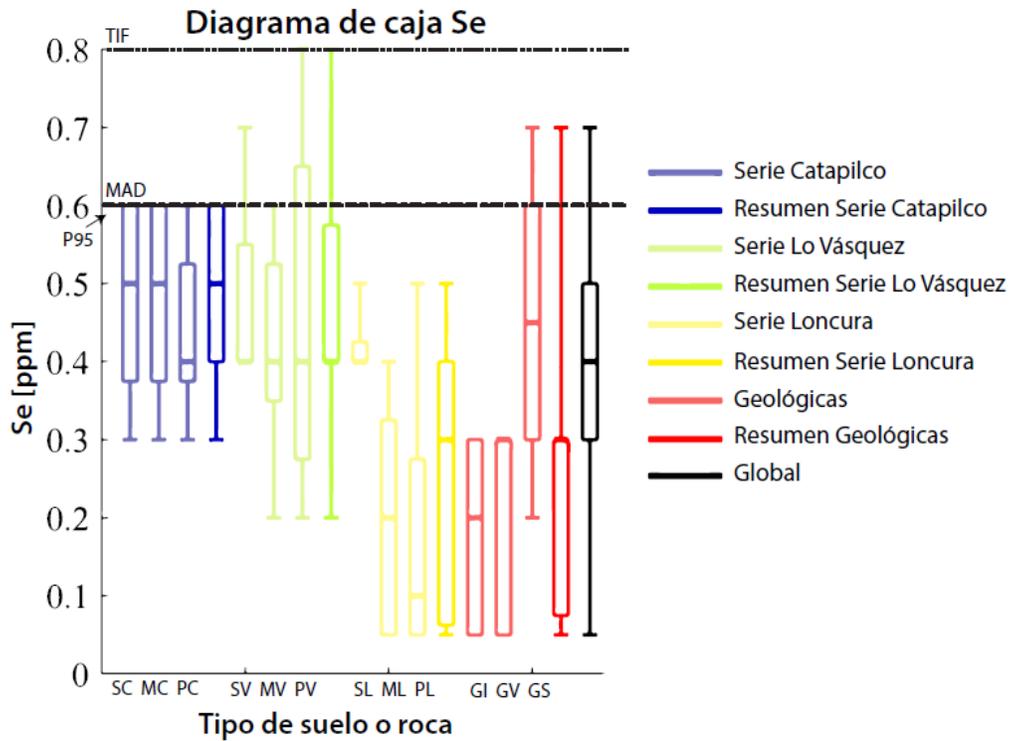


Figura D.14: Diagrama de caja Se para series agrológicas y muestras geológicas.

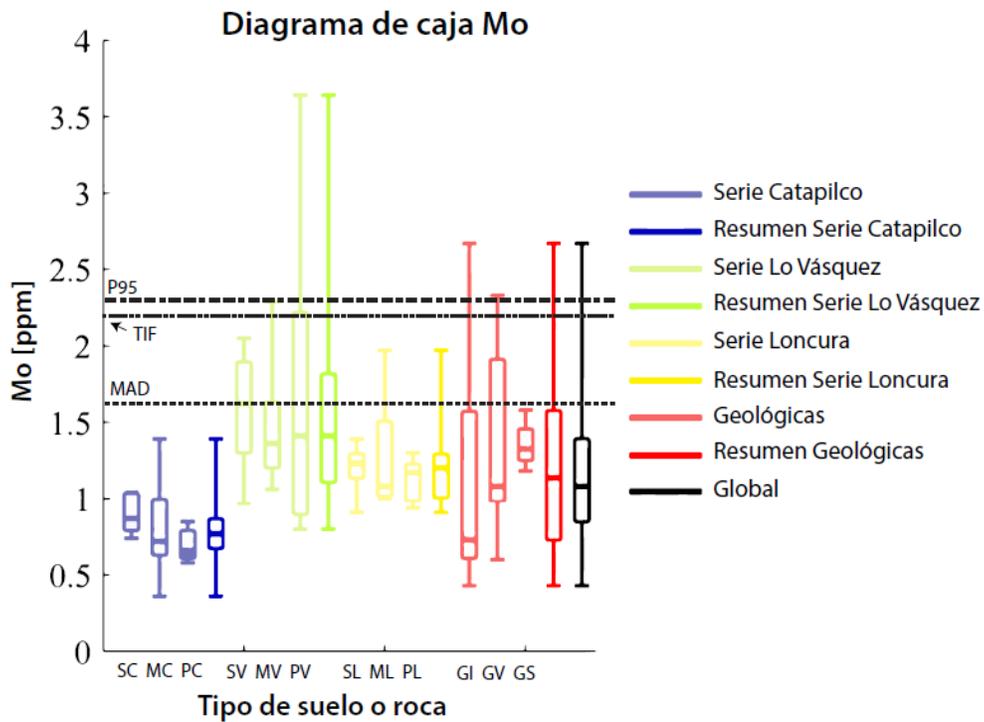


Figura D.15: Diagrama de caja Mo para series agrológicas y muestras geológicas.

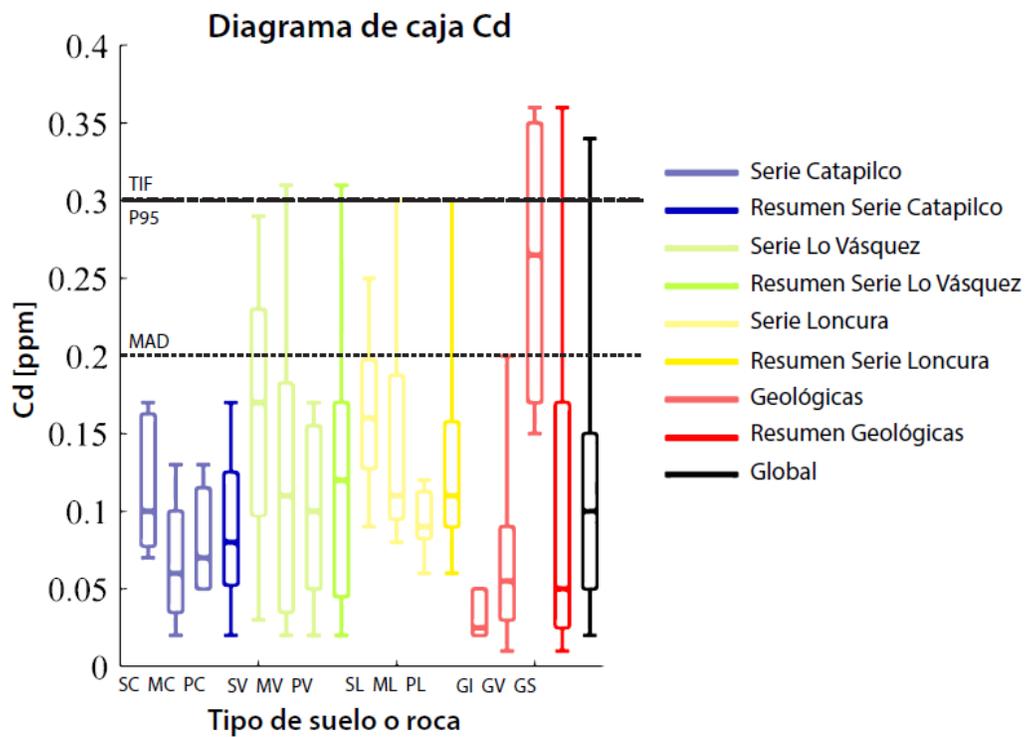


Figura D.16: Diagrama de caja Cd para series agrológicas y muestras geológicas.

Diagrama de caja Pb

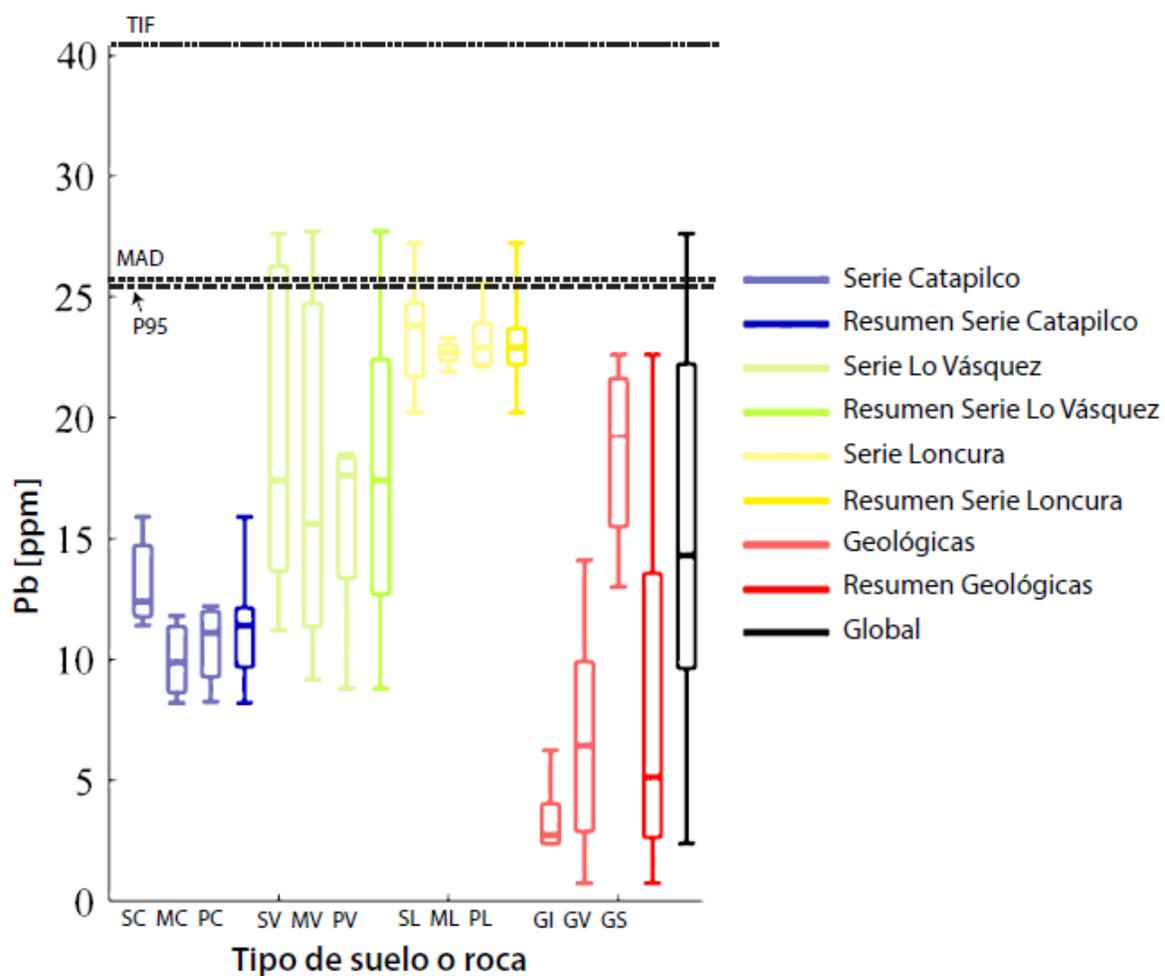


Figura D.17: Diagrama de caja Pb para series agrológicas y muestras geológicas.

E. Factor de enriquecimiento y mapas factor de enriquecimiento

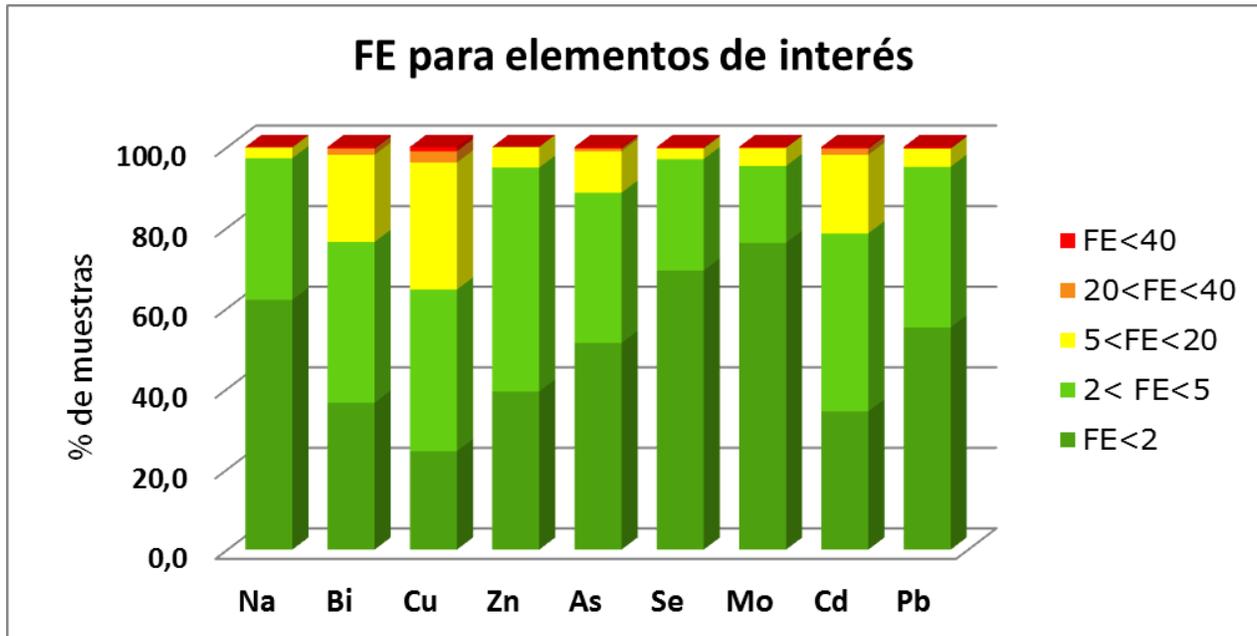


Figura E.1: Porcentaje de muestras categorizadas en base a FE para elementos de interés (mayor cantidad de muestras con FE>5).

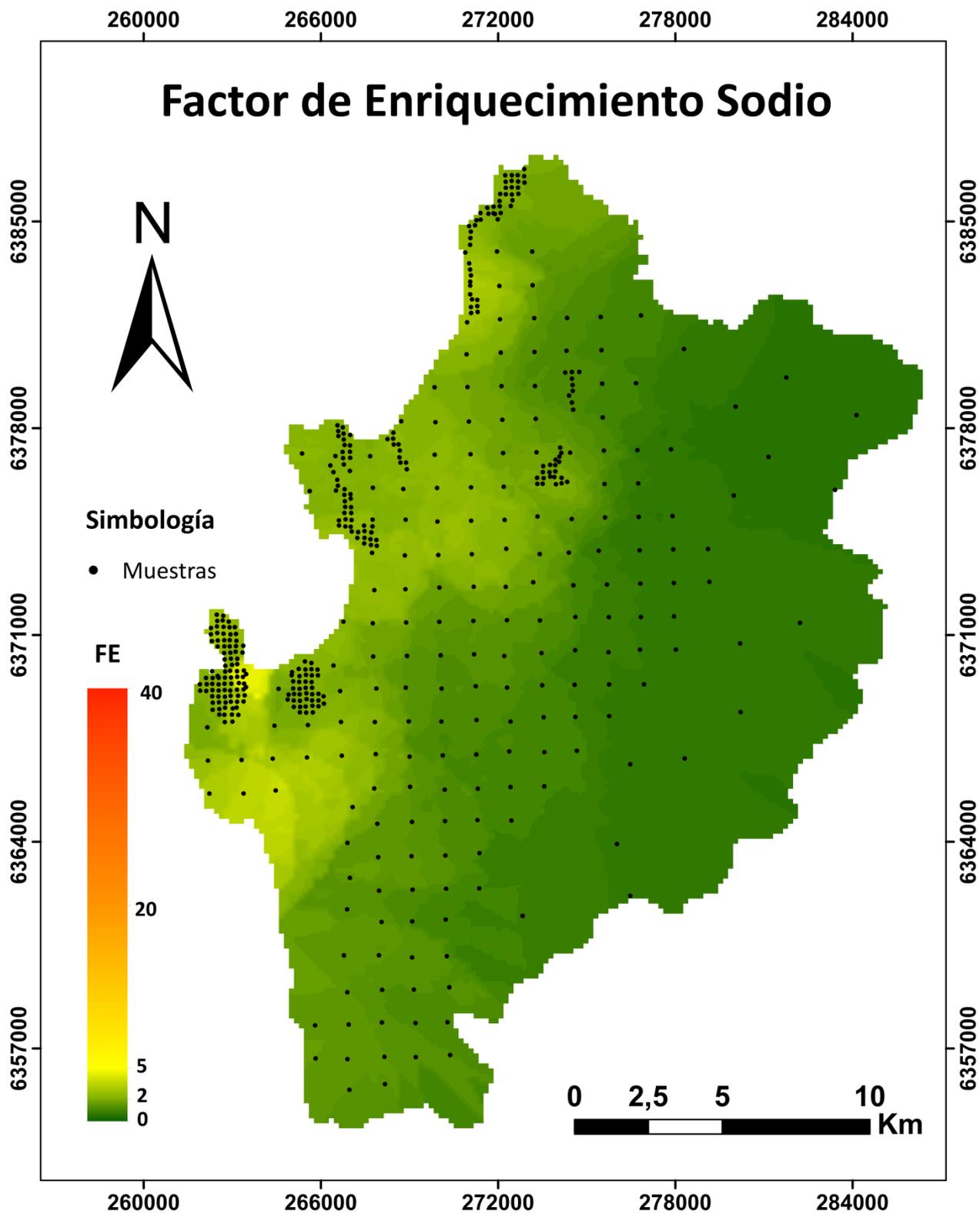


Figura E.2: Mapa de factor de enriquecimiento para Na a escala 1:150.000.

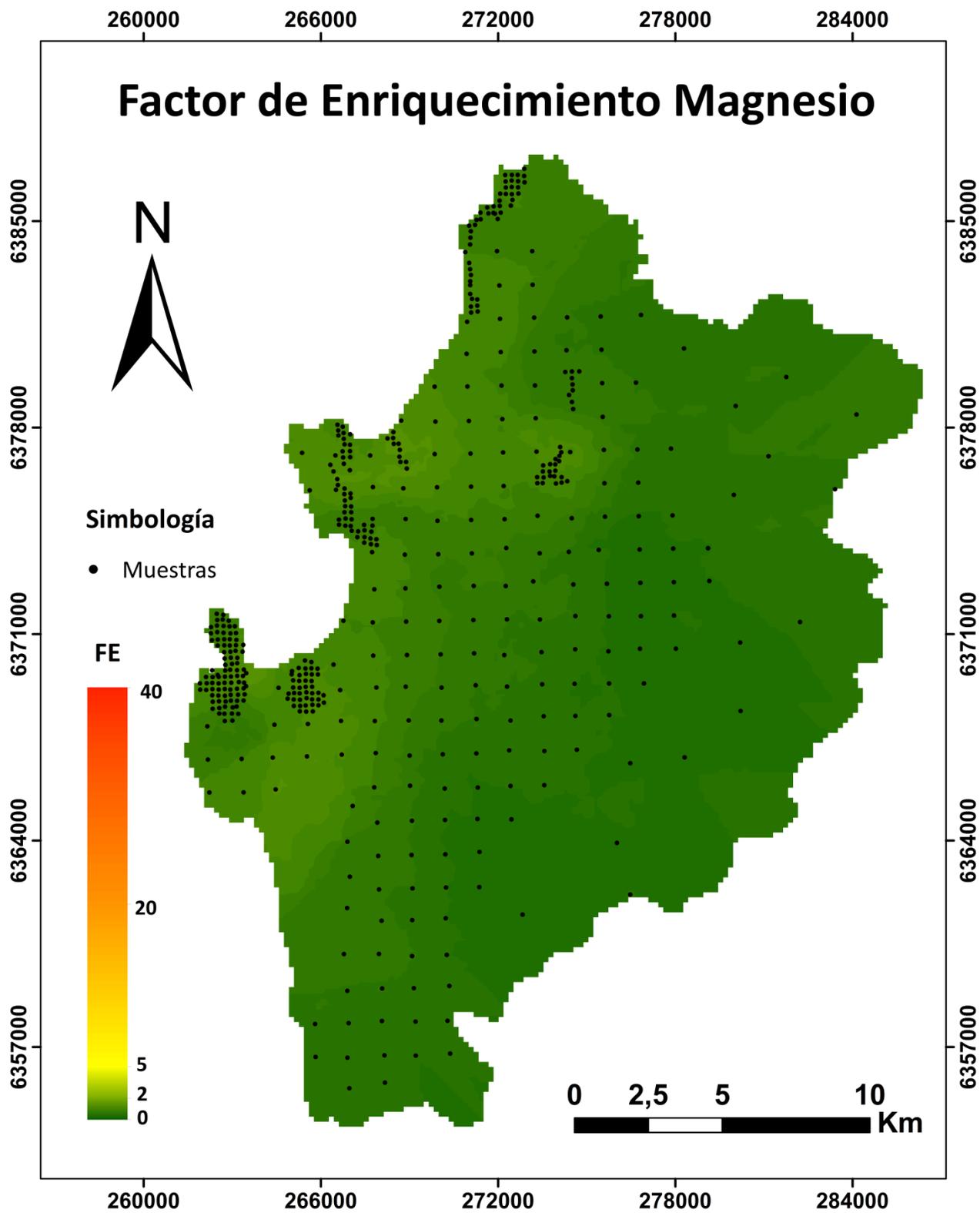


Figura E.3: Mapa de factor de enriquecimiento para Mg a escala 1:150.000.

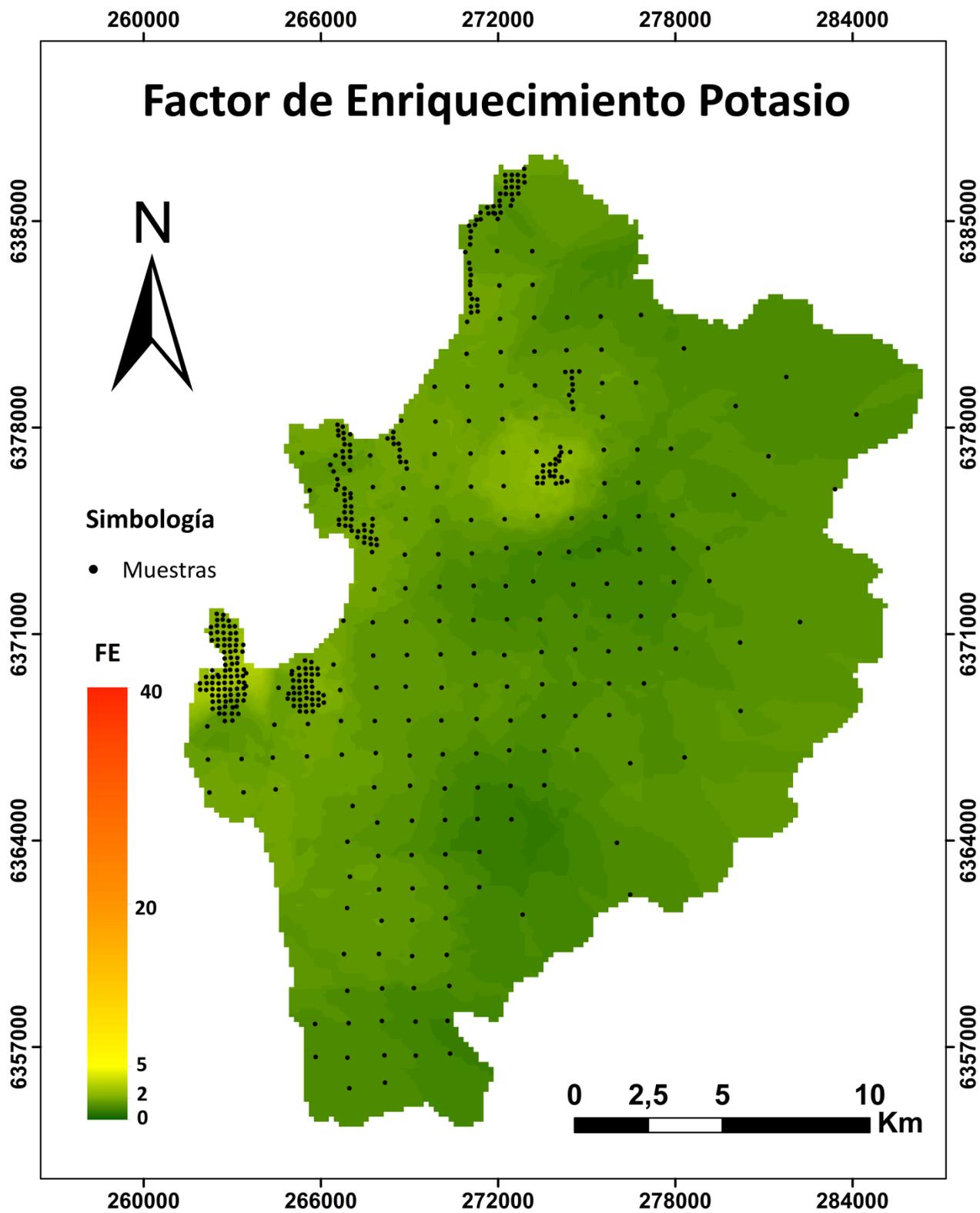


Figura E.4: Mapa de factor de enriquecimiento para K a escala 1:150.000.

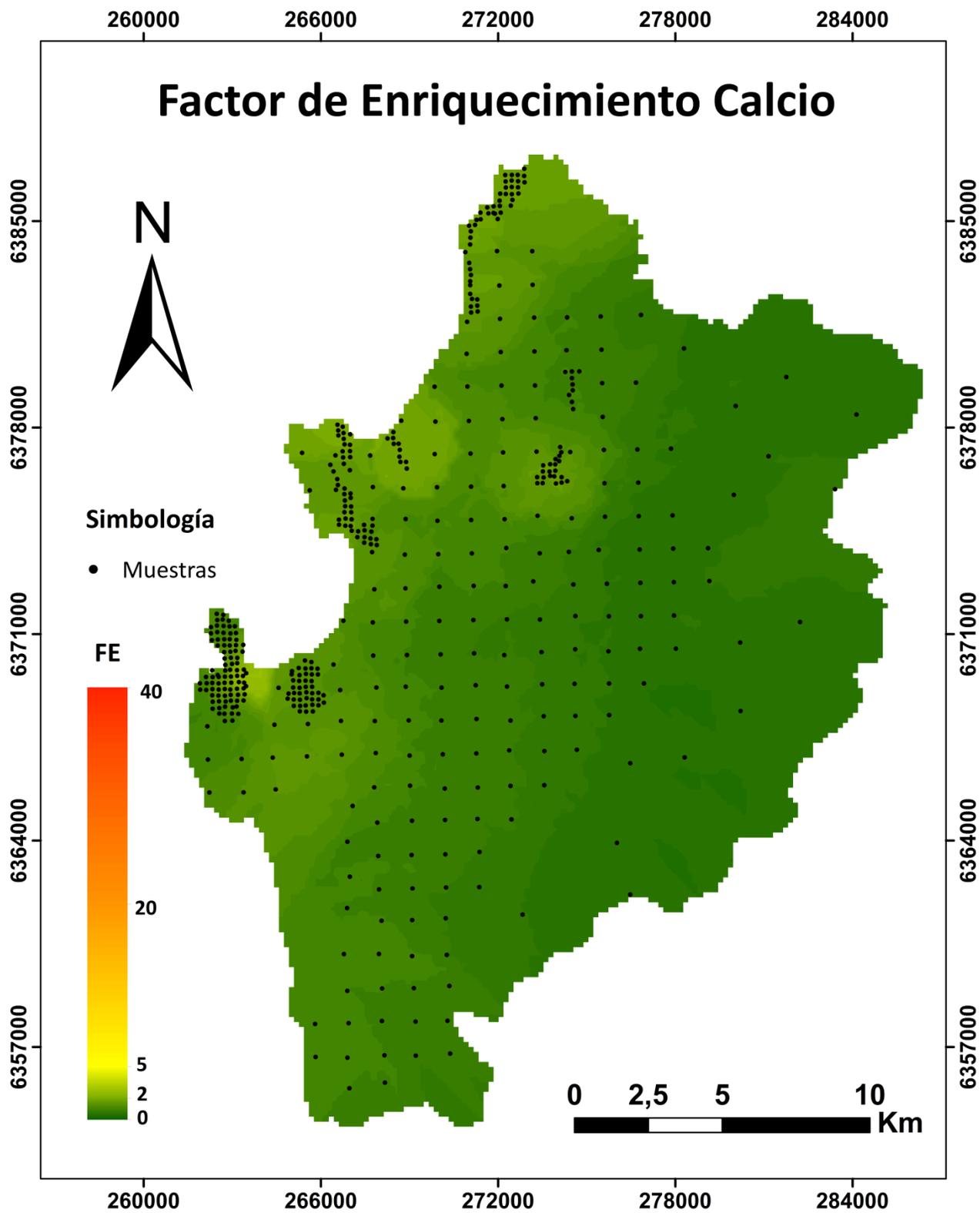


Figura E.5: Mapa de factor de enriquecimiento para Ca a escala 1:150.000.

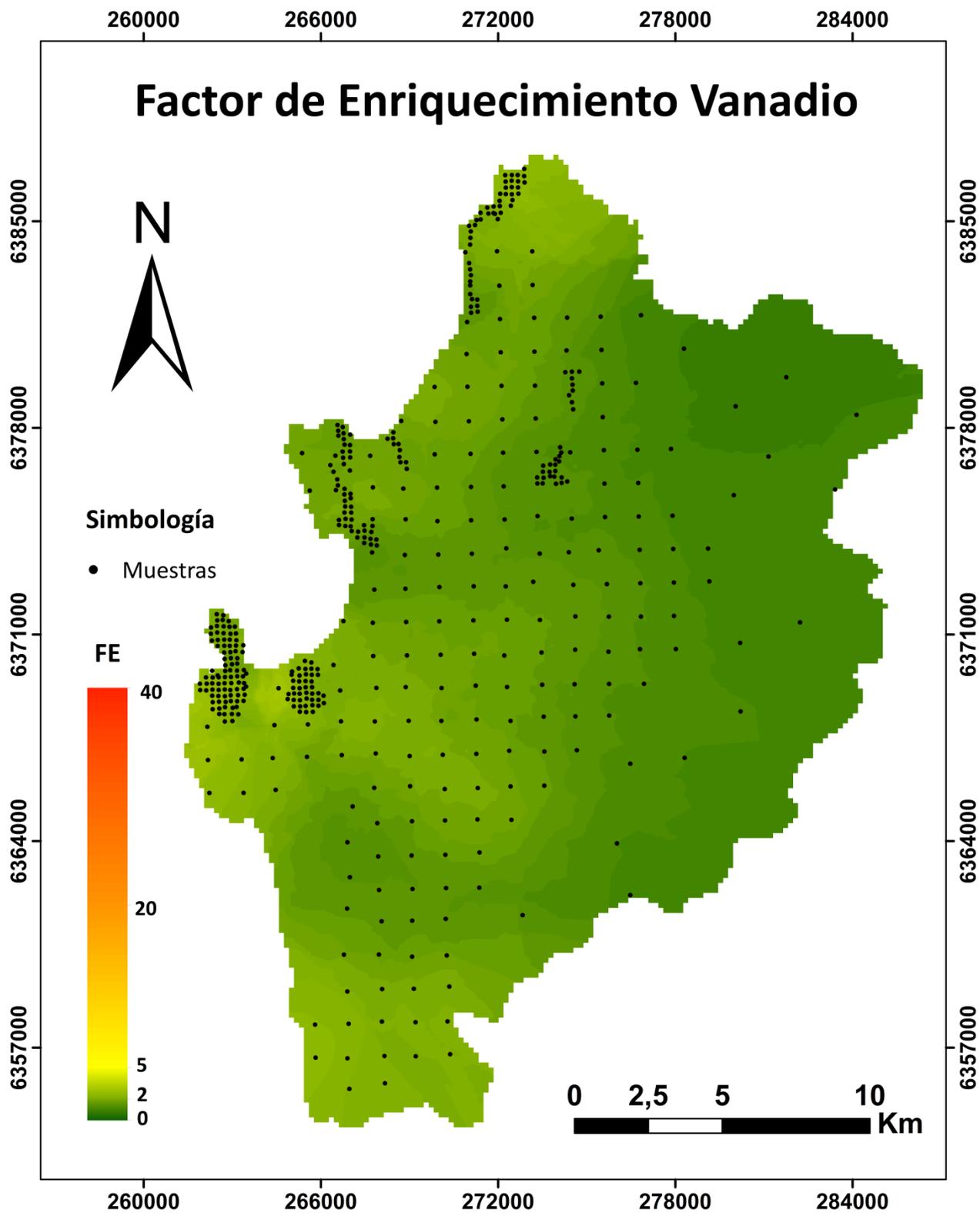


Figura E.7: Mapa de factor de enriquecimiento para V a escala 1:150.000.

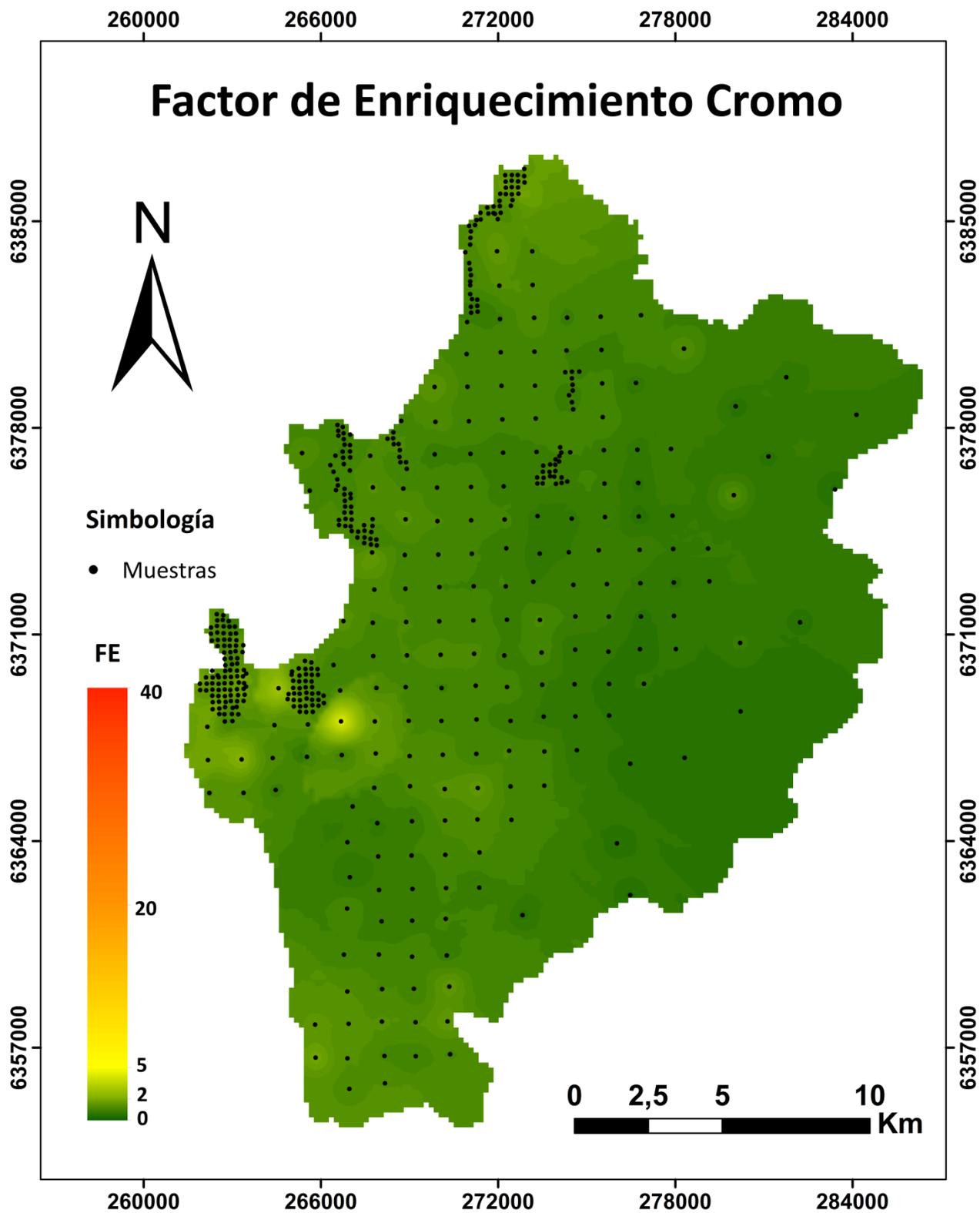


Figura E.8: Mapa de factor de enriquecimiento para Cr a escala 1:150.000.

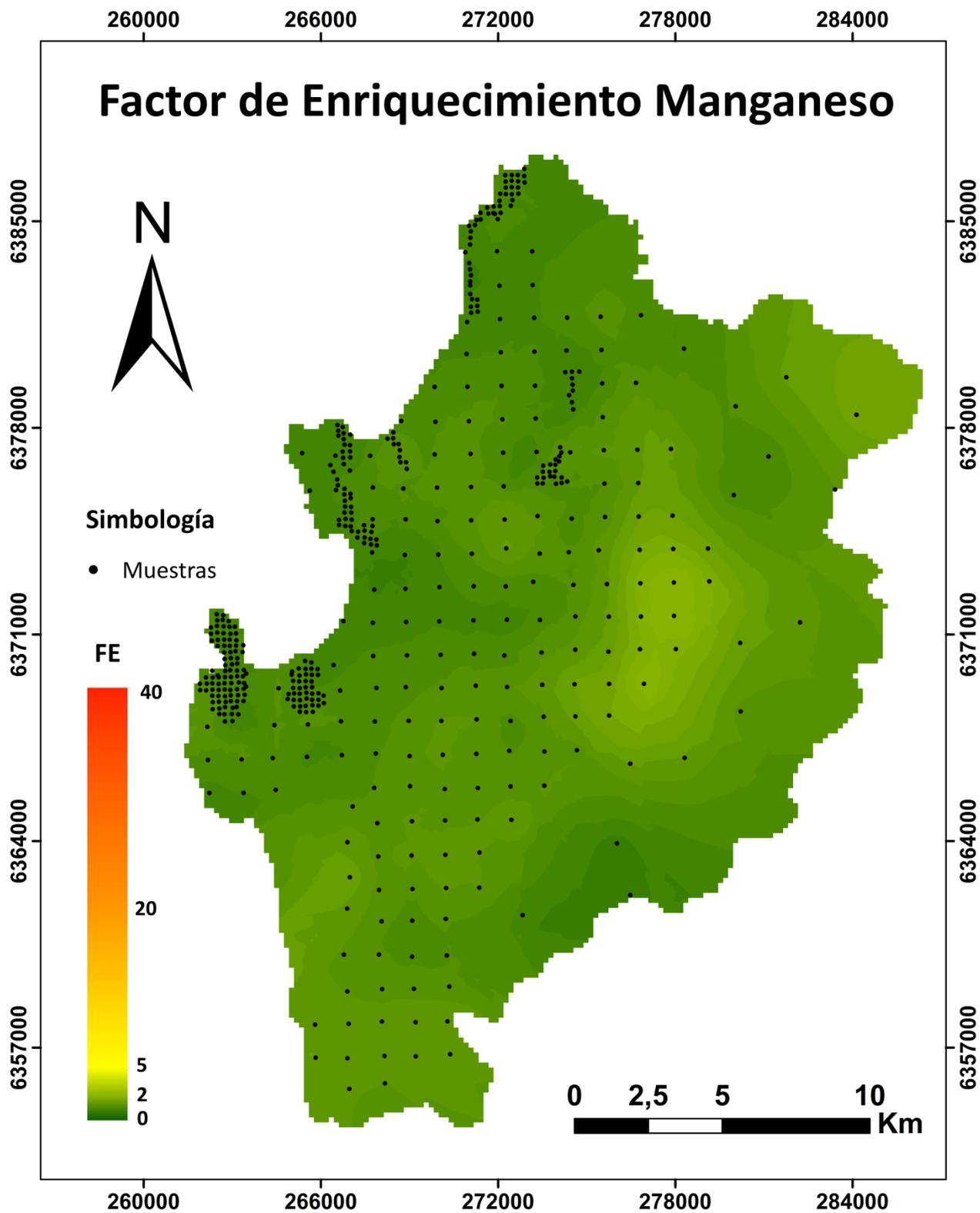


Figura E.9: Mapa de factor de enriquecimiento para Mn a escala 1:150.000.

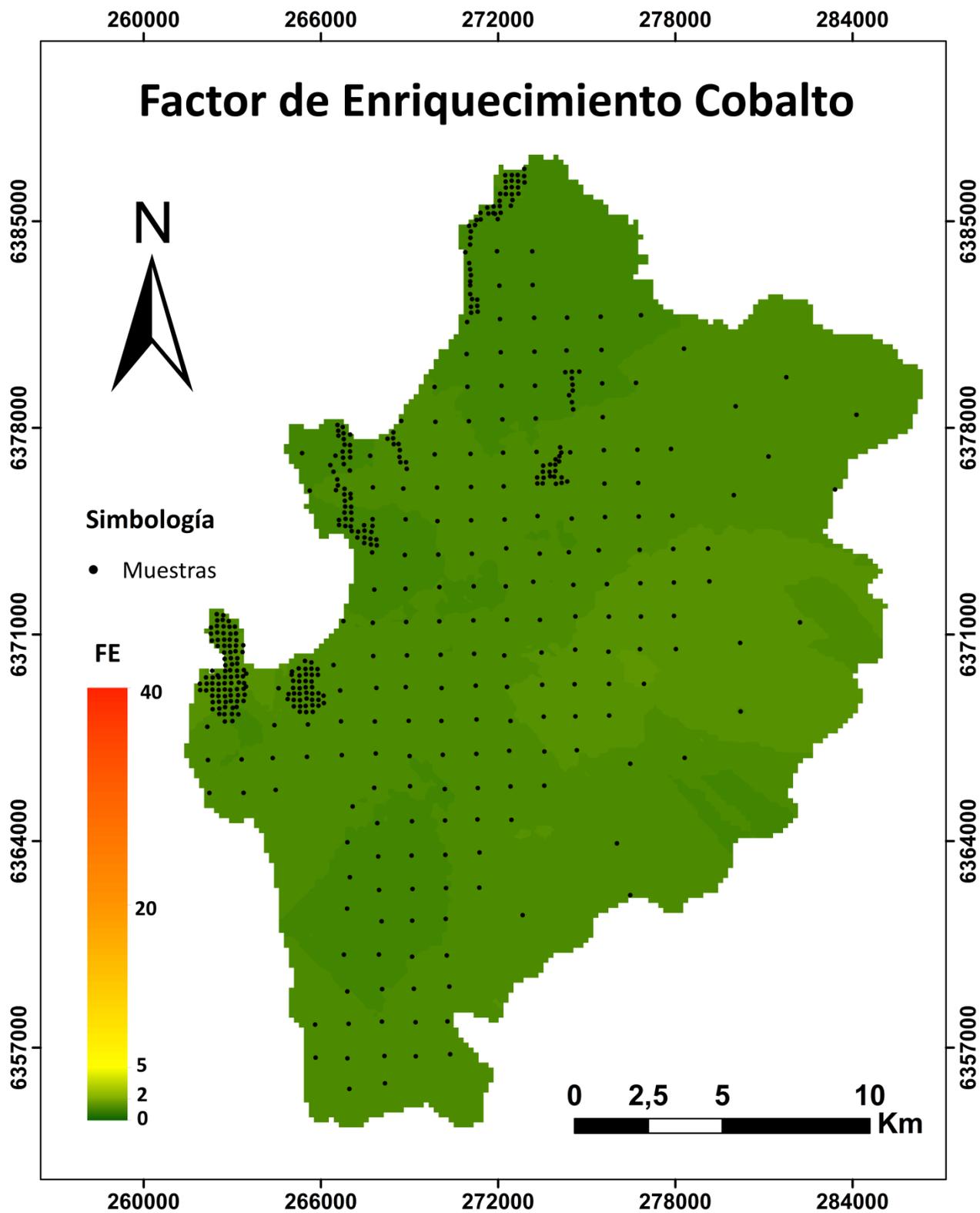


Figura E.10: Mapa de factor de enriquecimiento para Co a escala 1:150.000.

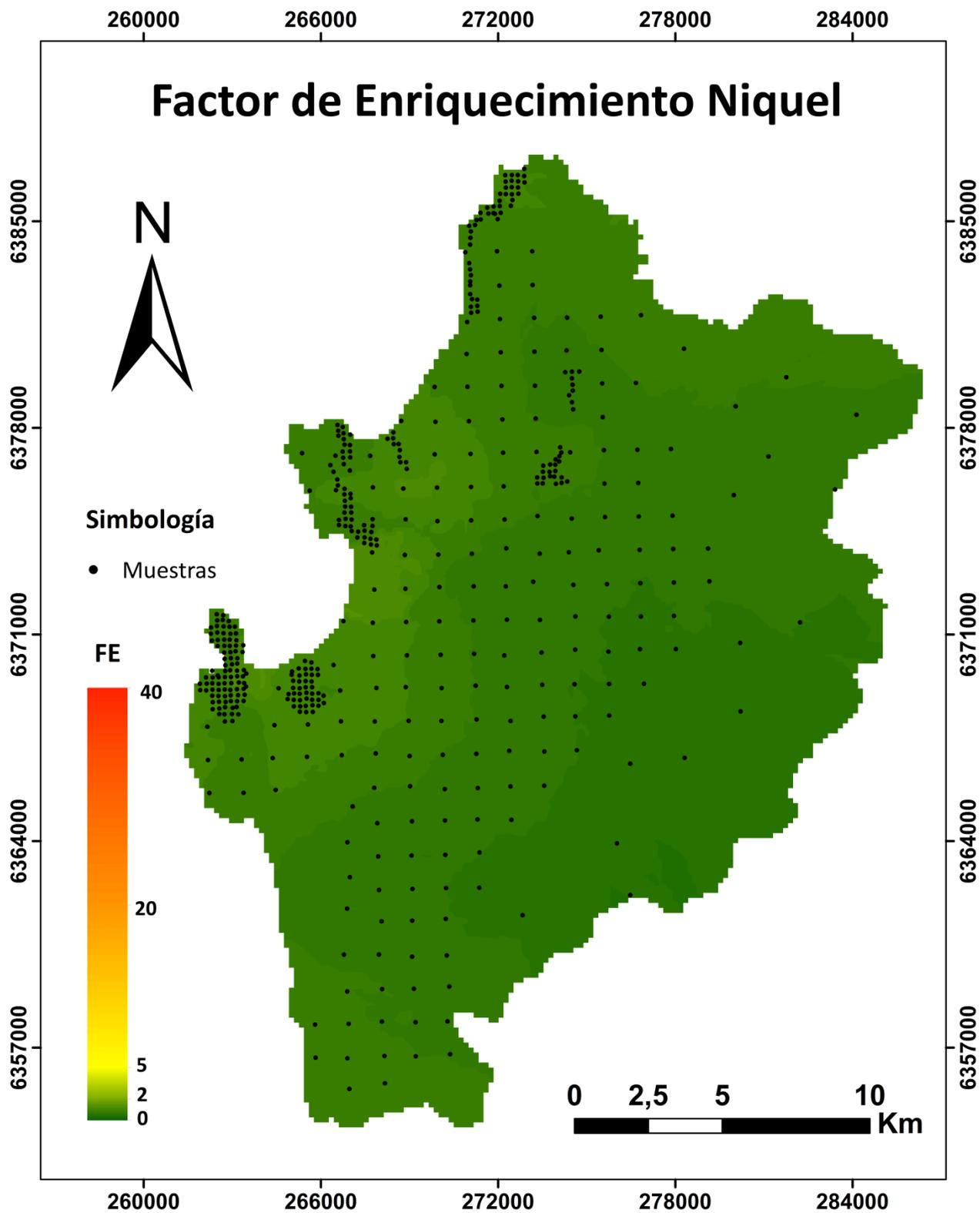


Figura E.11: Mapa de factor de enriquecimiento para Ni a escala 1:150.000.

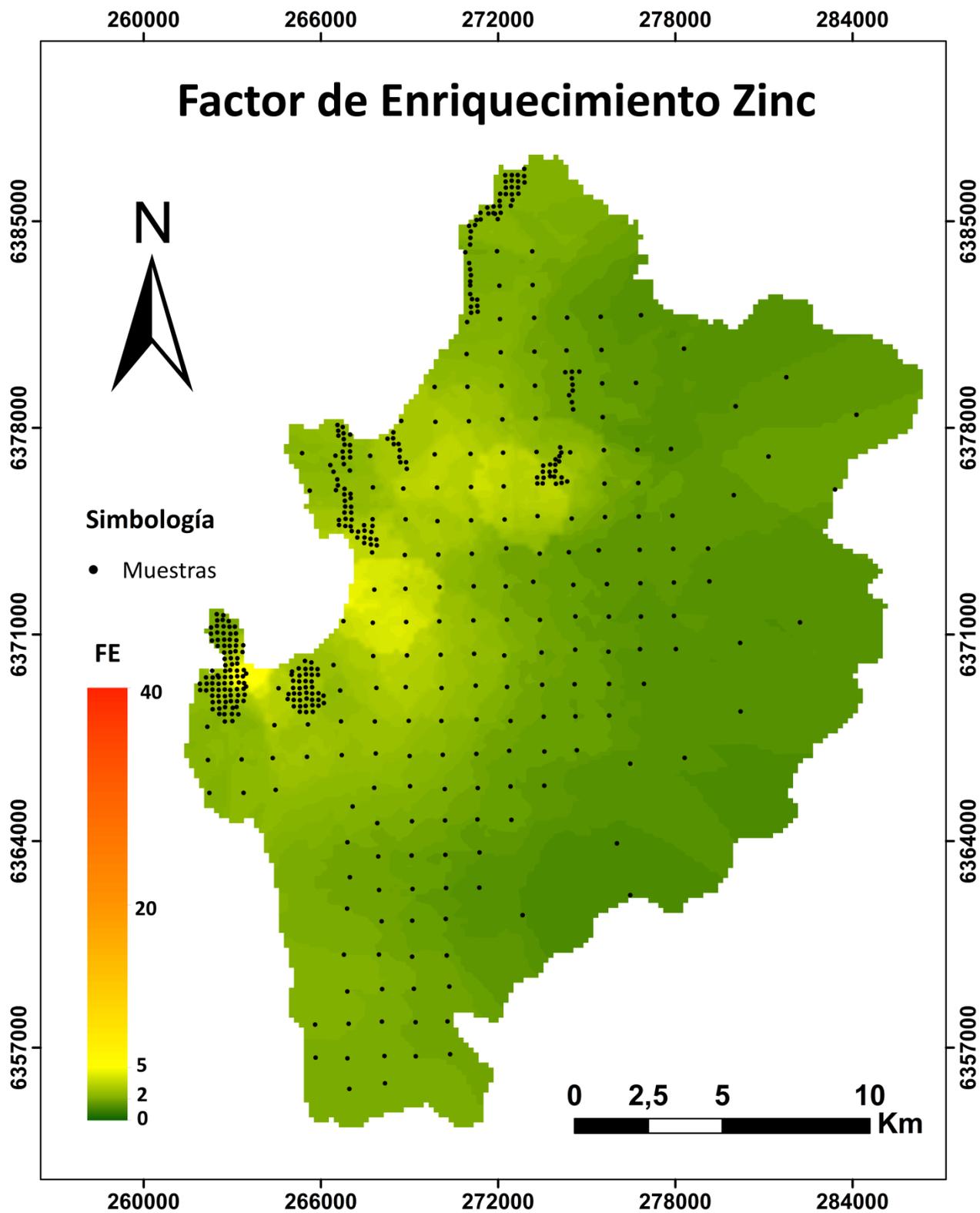


Figura E.12: Mapa de factor de enriquecimiento para Zn a escala 1:150.000.

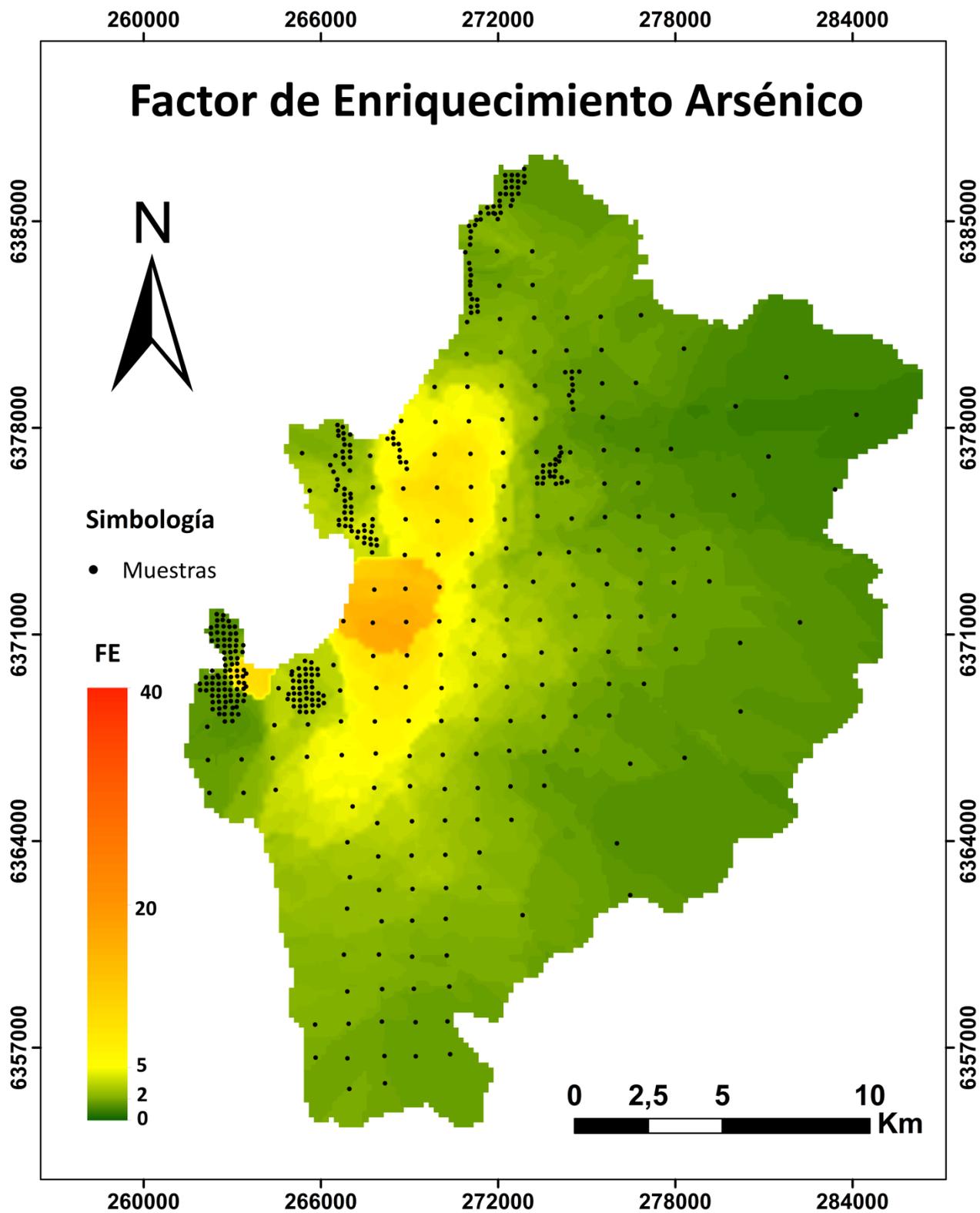


Figura E.13: Mapa de factor de enriquecimiento para As a escala 1:150.000.

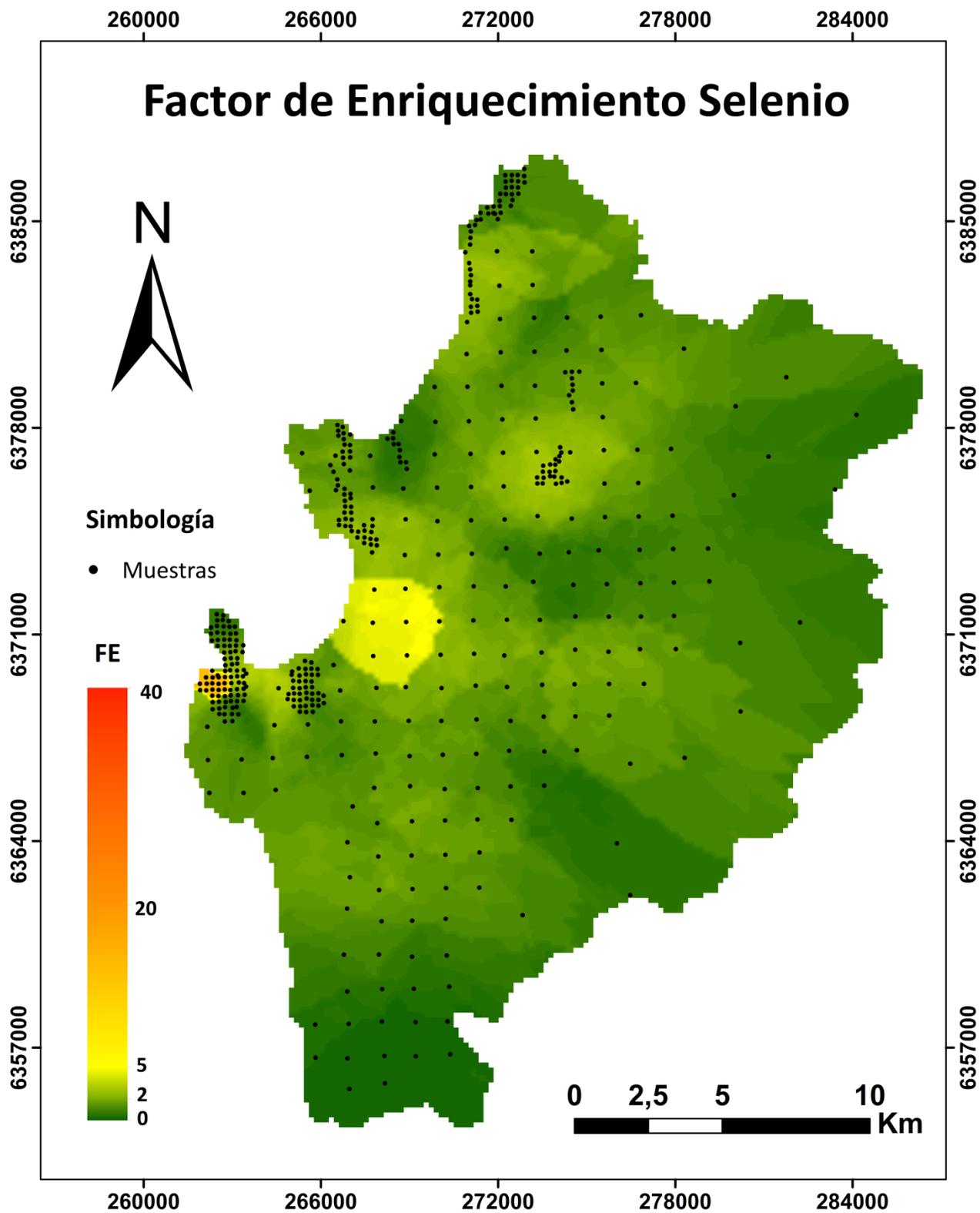


Figura E.14: Mapa de factor de enriquecimiento para Se a escala 1:150.000.

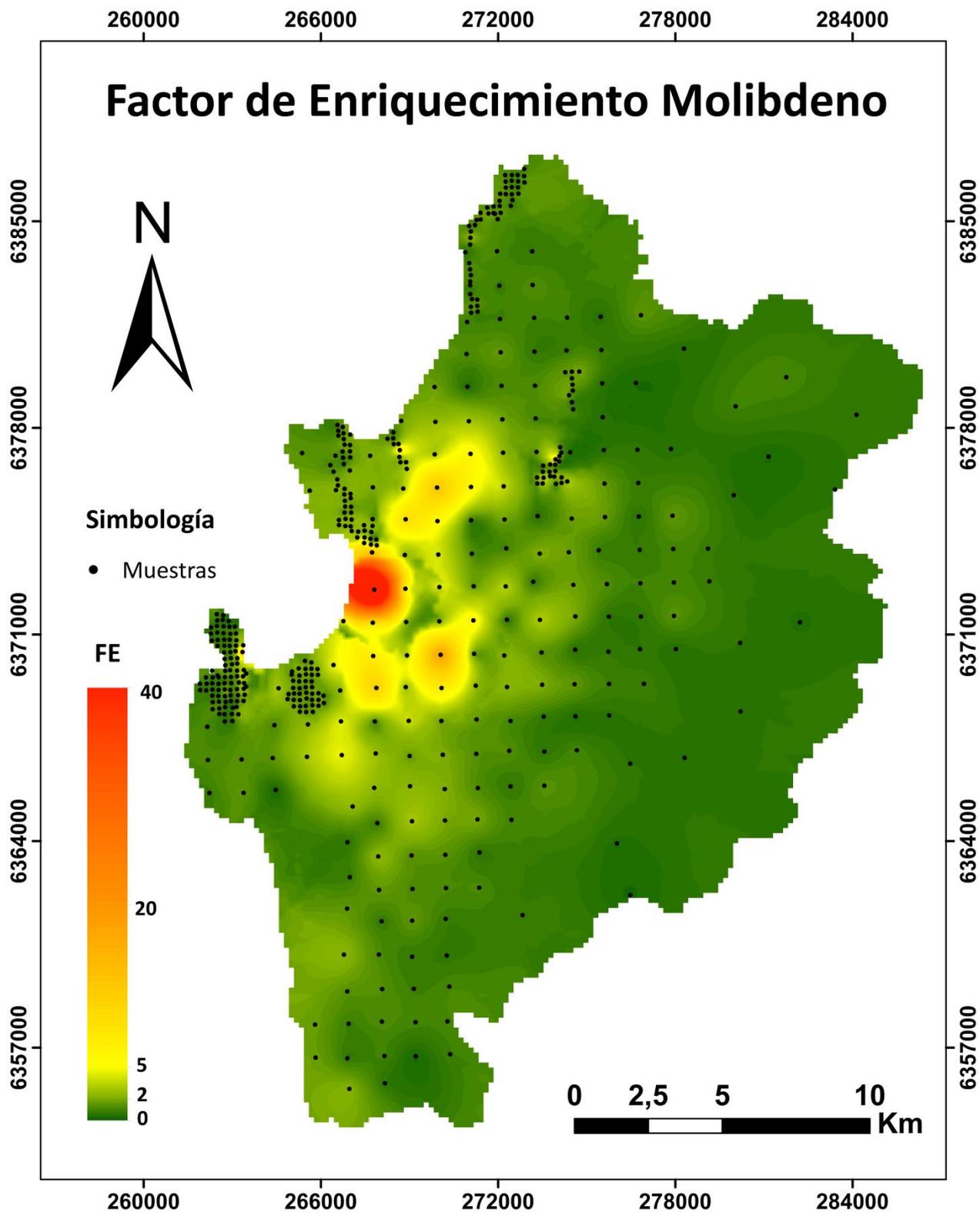


Figura E.15: Mapa de factor de enriquecimiento para Mo a escala 1:150.000.

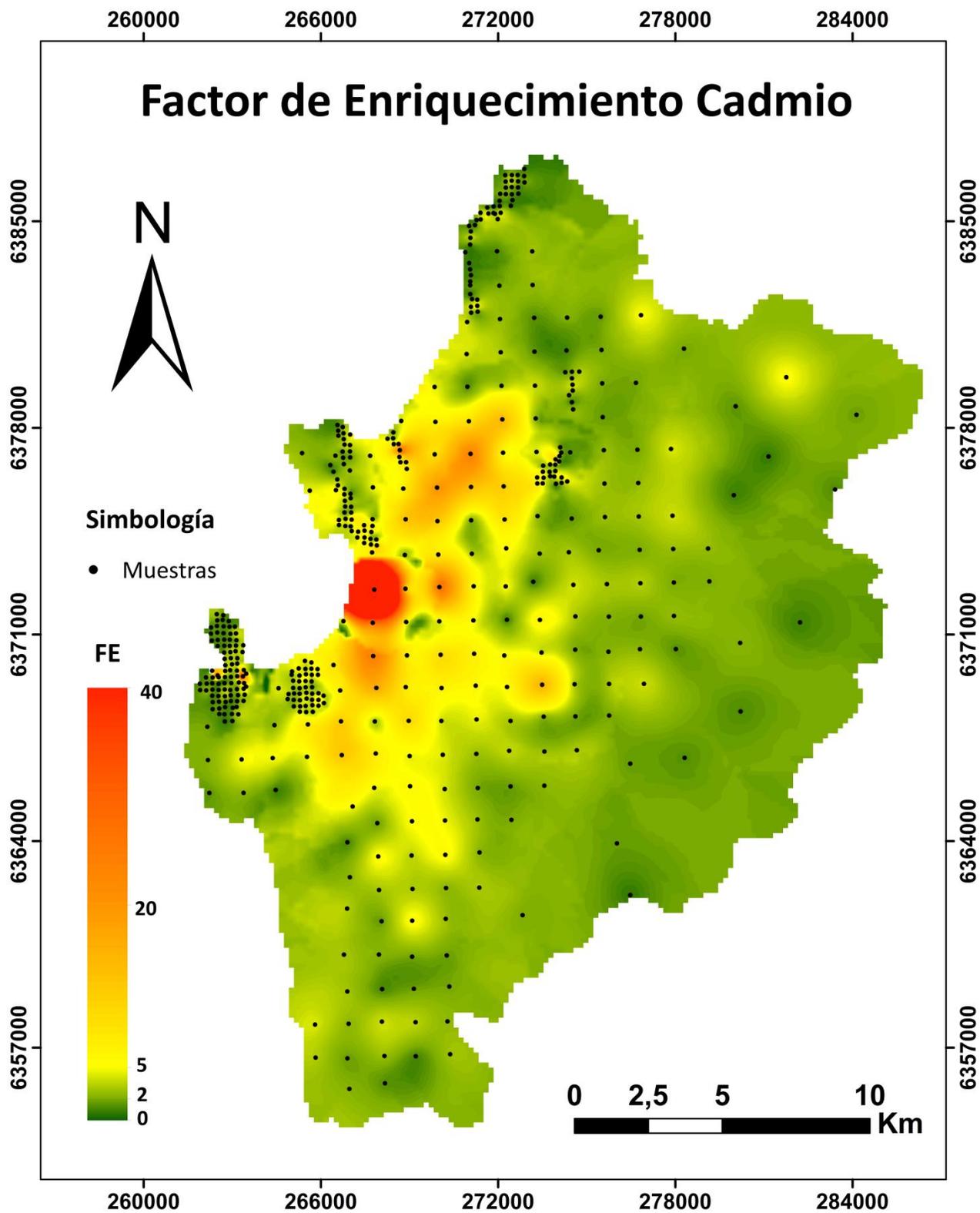


Figura E.16: Mapa de factor de enriquecimiento para Cd a escala 1:150.000.

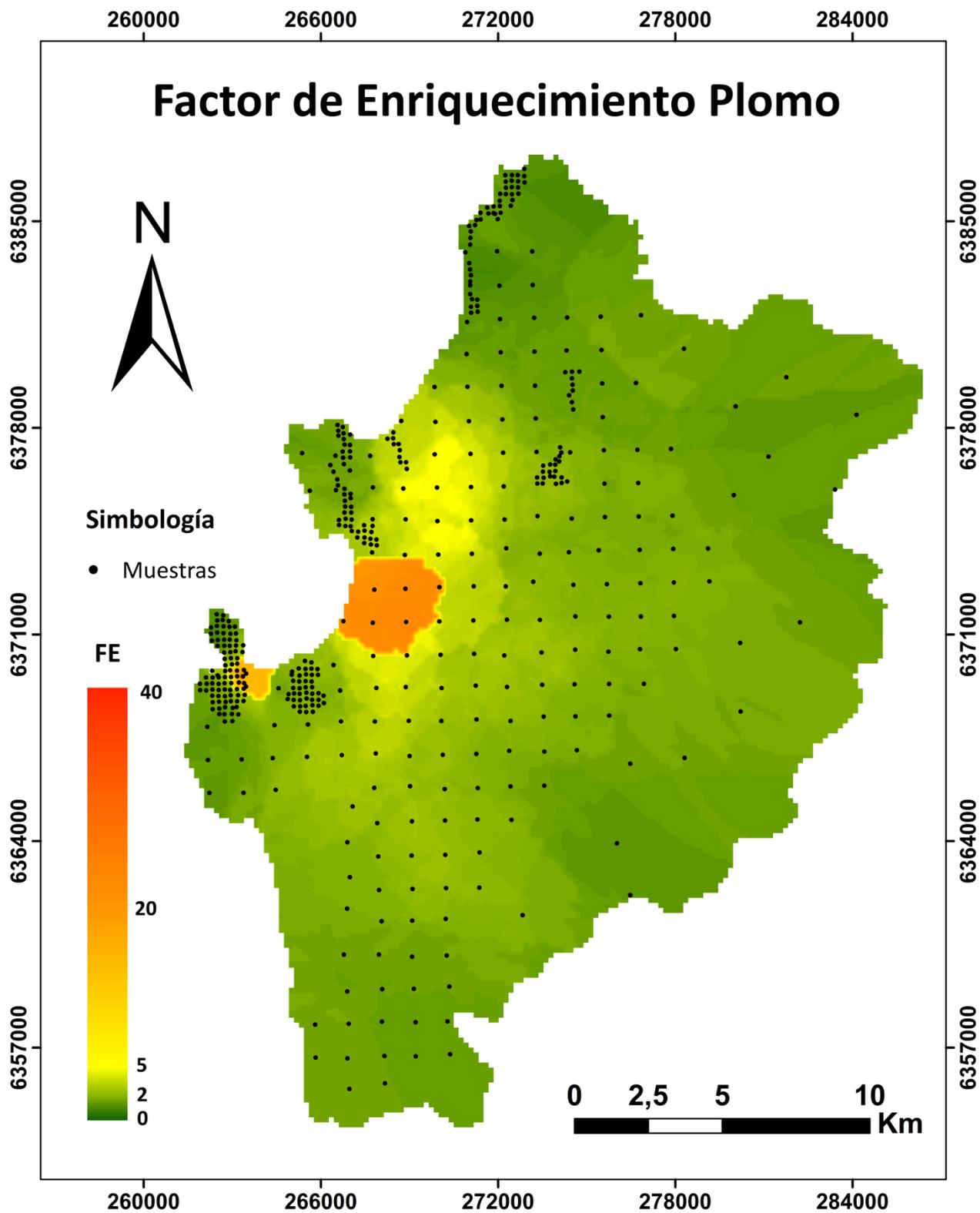


Figura E.17: Mapa de factor de enriquecimiento para Pb a escala 1:150.000.

F. Análisis de Componentes Principales y Matriz de correlación de Pearson

- Muestras agrológicas

Tabla F.1: Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras agrológicas.

% acumulado	53,0	71,9
Elemento	F1	F2
Na	0,833	-0,269
Mg	0,885	-0,190
K	0,559	0,370
Bi	0,019	0,885
Ca	0,915	-0,196
Sc	0,714	-0,402
V	0,949	-0,044
Cr	0,916	-0,003
Mn	0,907	-0,020
Fe	0,957	-0,012
Co	0,874	-0,187
Ni	0,497	0,477
Cu	-0,608	0,553
Zn	0,892	-0,015
As	0,743	0,560
Mo	0,041	0,671
Cd	0,282	0,747
Pb	0,703	0,630
Se	-0,389	0,285

Tabla F.2: Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras agrológicas.

	Na	Mg	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Pb	Se
Na	1																		
Mg	0,81	1																	
K	0,60	0,45	1																
Bi	-0,22	-0,18	0,22	1															
Ca	0,79	0,96	0,40	-0,18	1														
Sc	0,69	0,75	0,08	-0,19	0,74	1													
V	0,74	0,80	0,51	-0,06	0,84	0,61	1												
Cr	0,68	0,80	0,41	-0,05	0,83	0,67	0,92	1											
Mn	0,74	0,73	0,43	0,00	0,82	0,61	0,84	0,79	1										
Fe	0,76	0,80	0,54	-0,03	0,84	0,60	0,997	0,92	0,85	1									
Co	0,77	0,73	0,39	-0,07	0,77	0,81	0,82	0,79	0,81	0,81	1								
Ni	0,25	0,46	0,31	0,46	0,41	0,40	0,36	0,56	0,38	0,38	0,34	1							
Cu	-0,54	-0,56	0,04	0,40	-0,64	-0,71	-0,57	-0,60	-0,66	-0,55	-0,68	-0,19	1						
Zn	0,70	0,76	0,45	-0,04	0,82	0,57	0,87	0,81	0,81	0,88	0,74	0,34	-0,52	1					
As	0,43	0,52	0,63	0,47	0,56	0,19	0,74	0,65	0,68	0,76	0,51	0,46	-0,11	0,68	1				
Mo	-0,18	-0,19	0,25	0,45	-0,18	-0,24	0,07	0,25	-0,01	0,10	-0,04	0,39	0,35	0,02	0,37	1			
Cd	0,03	0,19	0,31	0,72	0,22	-0,02	0,12	0,15	0,33	0,15	0,09	0,56	0,15	0,23	0,62	0,21	1		
Pb	0,43	0,46	0,63	0,62	0,49	0,19	0,67	0,58	0,64	0,69	0,50	0,49	-0,05	0,65	0,91	0,39	0,64	1	
Se	-0,55	-0,30	-0,27	0,21	-0,31	-0,24	-0,43	-0,24	-0,33	-0,43	-0,31	0,23	0,21	-0,32	-0,26	0,15	0,21	-0,23	1

Simbología
 0,9 Excelente
 0,8 Muy buena
 0,7 Buena

- **Muestras no urbanas enriquecidas**

Tabla F.3: Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras no urbanas enriquecidas.

% acumulado	37,243	56,726
Elemento	F1	F2
Na	0,022	0,133
Mg	0,122	0,564
K	0,158	0,479
Bi	0,958	-0,204
Ca	0,124	0,515
Sc	0,182	0,601
V	0,110	0,656
Cr	0,144	0,513
Mn	-0,026	0,616
Fe	0,196	0,661
Co	0,416	0,739
Ni	0,475	0,455
Cu	0,970	-0,201
Zn	0,946	0,067
As	0,961	-0,216
Mo	0,961	-0,206
Cd	0,973	-0,168
Pb	0,958	-0,200
Se	0,227	-0,068

Tabla F.4: Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras no urbanas enriquecidas.

	Na	Mg	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Pb	Se
Na	1																		
Mg	0,47	1																	
K	0,04	0,46	1																
Bi	0,04	-0,02	0,02	1															
Ca	0,72	0,55	0,08	0,04	1														
Sc	0,03	0,56	0,41	0,07	0,24	1													
V	-0,31	0,01	0,14	0,00	0,21	0,20	1												
Cr	0,11	0,08	0,11	0,05	0,30	0,04	0,48	1											
Mn	0,08	0,32	0,44	-0,13	0,22	0,50	0,21	0,05	1										
Fe	-0,28	0,06	0,13	0,05	0,24	0,19	0,96	0,57	0,14	1									
Co	-0,01	0,42	0,45	0,26	0,22	0,66	0,50	0,34	0,56	0,51	1								
Ni	0,30	0,42	0,20	0,29	0,48	0,21	0,20	0,29	0,05	0,37	0,39	1							
Cu	0,07	0,02	0,04	0,97	0,06	0,07	-0,06	0,02	-0,13	0,02	0,26	0,39	1						
Zn	-0,02	0,14	0,24	0,85	0,10	0,20	0,16	0,13	0,00	0,24	0,48	0,51	0,90	1					
As	0,00	0,01	0,09	0,97	-0,01	0,07	-0,03	0,02	-0,13	0,03	0,24	0,30	0,98	0,896	1				
Mo	0,01	-0,02	0,02	0,96	-0,03	0,05	-0,02	0,05	-0,17	0,07	0,29	0,37	0,96	0,91	0,96	1			
Cd	0,04	0,04	0,08	0,98	0,07	0,11	-0,03	0,04	-0,07	0,03	0,30	0,34	0,99	0,90	0,98	0,95	1		
Pb	0,04	-0,02	0,02	1,00	0,04	0,07	0,00	0,05	-0,13	0,06	0,26	0,29	0,96	0,85	0,96	0,96	0,98	1	
Se	-0,02	0,15	-0,06	0,28	-0,01	0,14	-0,07	-0,06	0,07	-0,04	0,13	0,03	0,32	0,32	0,31	0,33	0,31	0,28	1

Simbología
 0,9 Excelente
 0,8 Muy buena
 0,7 Buena

- **Muestras no urbanas no enriquecidas**

Tabla F.5: Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras no urbanas no enriquecidas.

% acumulado	27,5	49,3
Elemento	F1	F2
Na	0,162	-0,244
Mg	0,605	-0,389
K	0,500	-0,314
Bi	0,318	0,845
Ca	0,513	-0,417
Sc	0,586	-0,238
V	0,507	-0,391
Cr	0,635	-0,407
Mn	0,345	-0,058
Fe	0,531	-0,431
Co	0,470	-0,188
Ni	0,769	-0,340
Cu	0,499	0,667
Zn	0,858	-0,087
As	0,419	0,704
Mo	0,552	0,615
Cd	0,572	0,605
Pb	0,463	0,717
Se	-0,005	0,116

Tabla F.6: Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras no urbanas no enriquecidas.

	Na	Mg	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Pb	Se
Na	1																		
Mg	0,70	1																	
K	0,37	0,64	1																
Bi	-0,05	0,05	-0,09	1															
Ca	0,77	0,88	0,56	-0,01	1														
Sc	0,07	0,13	0,03	-0,04	0,10	1													
V	0,04	0,15	-0,14	-0,01	0,30	0,52	1												
Cr	0,07	0,15	-0,16	0,05	0,34	0,51	0,94	1											
Mn	-0,16	-0,32	-0,17	-0,02	-0,32	0,63	0,17	0,14	1										
Fe	0,21	0,32	-0,01	0,04	0,43	0,56	0,96	0,89	0,21	1									
Co	-0,18	-0,17	-0,14	-0,07	-0,23	0,75	0,33	0,30	0,84	0,34	1								
Ni	0,37	0,52	0,22	0,05	0,57	0,64	0,65	0,76	0,23	0,73	0,37	1							
Cu	0,15	0,28	0,14	0,83	0,10	-0,05	-0,16	-0,14	-0,05	-0,02	-0,02	0,10	1						
Zn	0,39	0,60	0,35	0,34	0,66	0,43	0,63	0,65	0,04	0,74	0,09	0,79	0,32	1					
As	0,41	0,40	0,16	0,78	0,42	0,00	0,13	0,18	-0,10	0,27	-0,19	0,32	0,80	0,59	1				
Mo	0,49	0,39	0,22	0,58	0,48	0,09	0,18	0,30	-0,04	0,31	-0,13	0,49	0,63	0,61	0,86	1			
Cd	0,23	0,24	0,15	0,84	0,20	0,00	0,00	0,06	-0,09	0,10	-0,18	0,19	0,82	0,47	0,898	0,79	1		
Pb	0,03	0,06	-0,10	0,84	-0,01	0,06	0,05	0,12	0,12	0,13	0,06	0,13	0,73	0,31	0,74	0,62	0,72	1	
Se	-0,08	-0,07	0,01	0,24	-0,03	-0,29	-0,25	-0,21	-0,20	-0,28	-0,32	-0,27	0,12	-0,17	0,13	0,06	0,12	0,21	1

Simbología
 0,9 Excelente
 0,8 Muy buena
 0,7 Buena

G. Difractogramas



SAMPLE = NC48udf (1)

XPowderX Ver. 2019.06.10

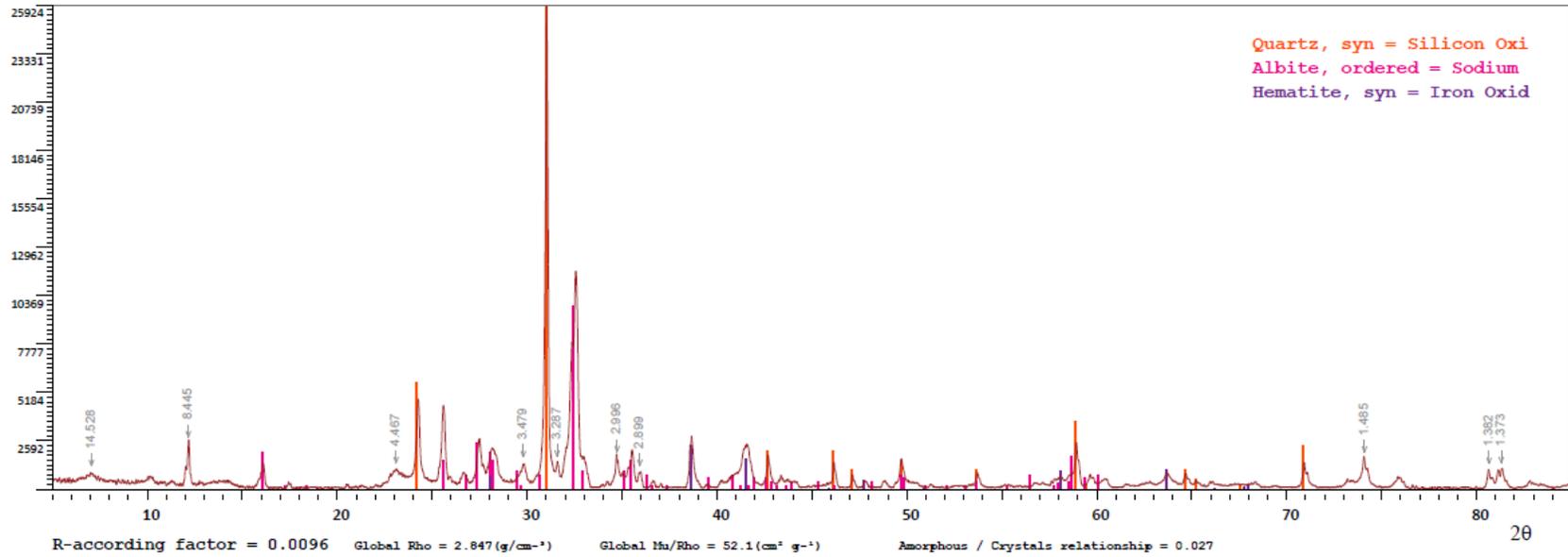


Figura G.1: Difractograma para muestra NC48.



SAMPLE = OC38udf

XPowderX Ver. 2019.06.10

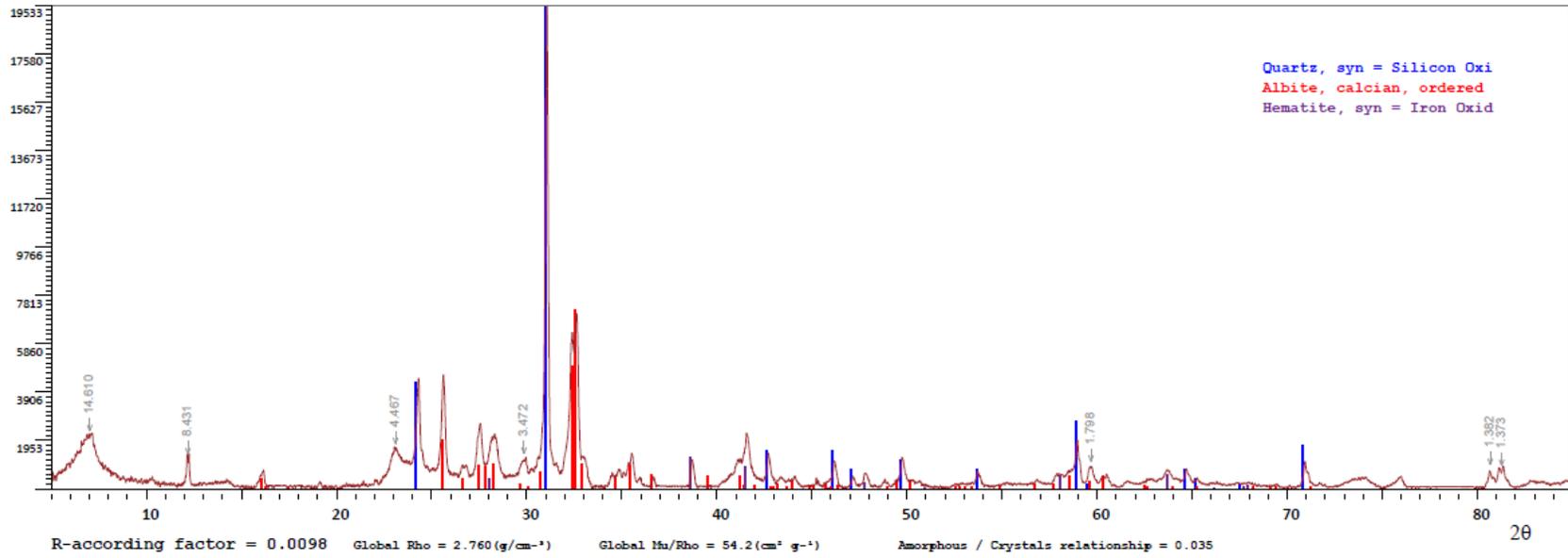


Figura G.2: Difractograma para muestra OC38.

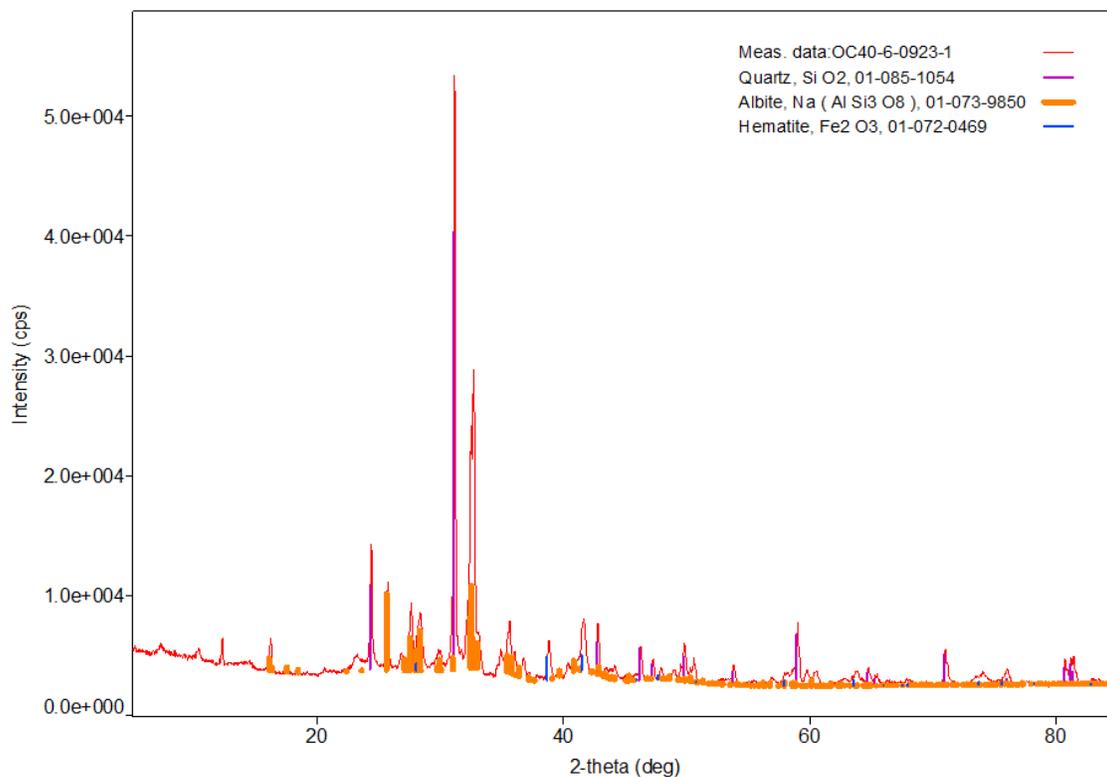


Figura G.3: Difractograma para muestra OC40.

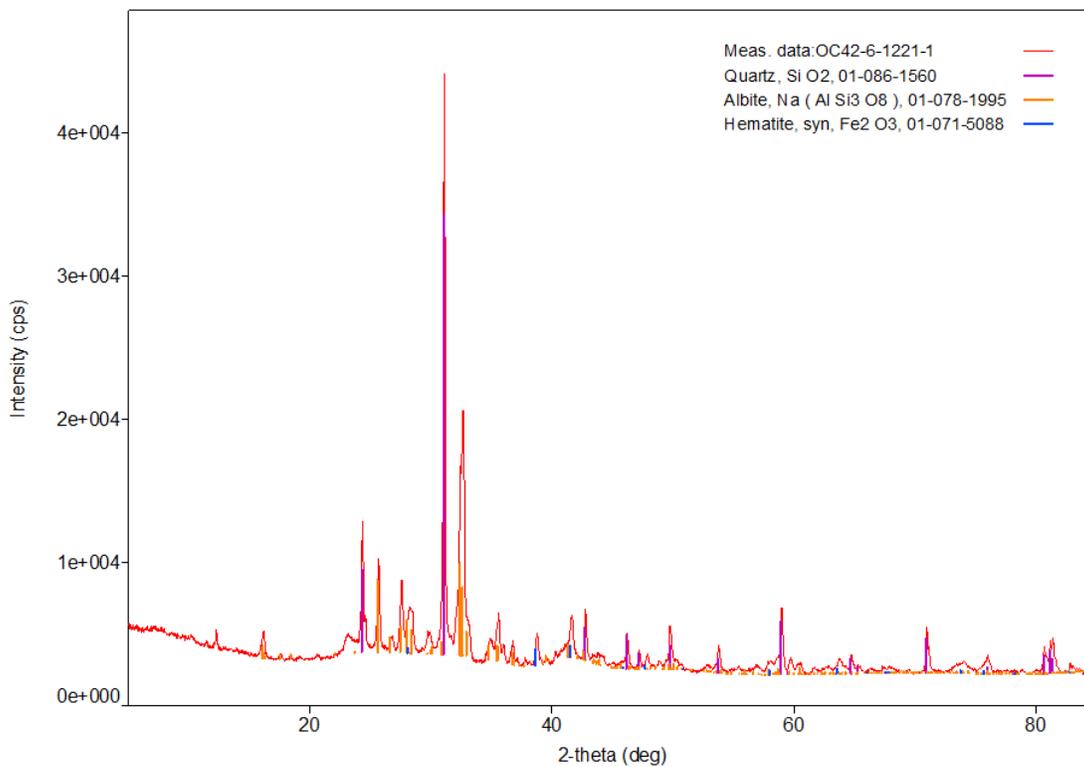


Figura G.4: Difractograma para muestra OC42.



SAMPLE = OQ21udf

XPowderX Ver. 2019.06.10

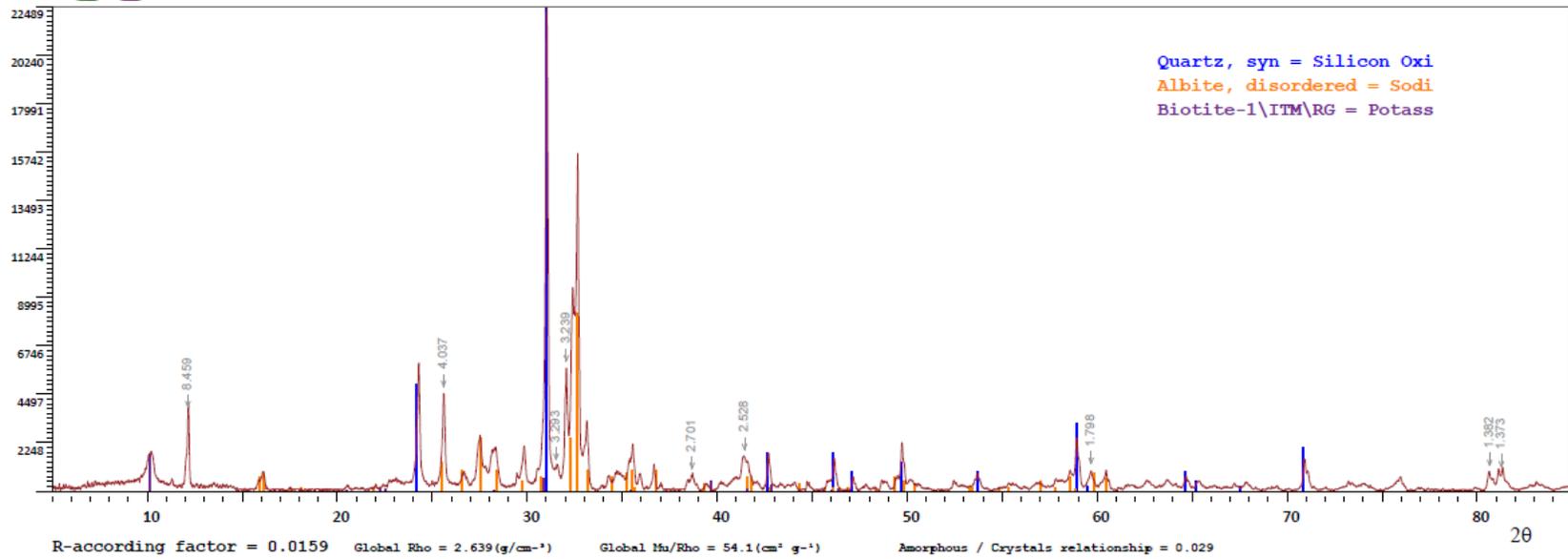


Figura G.5: Difractograma para muestra OQ21.

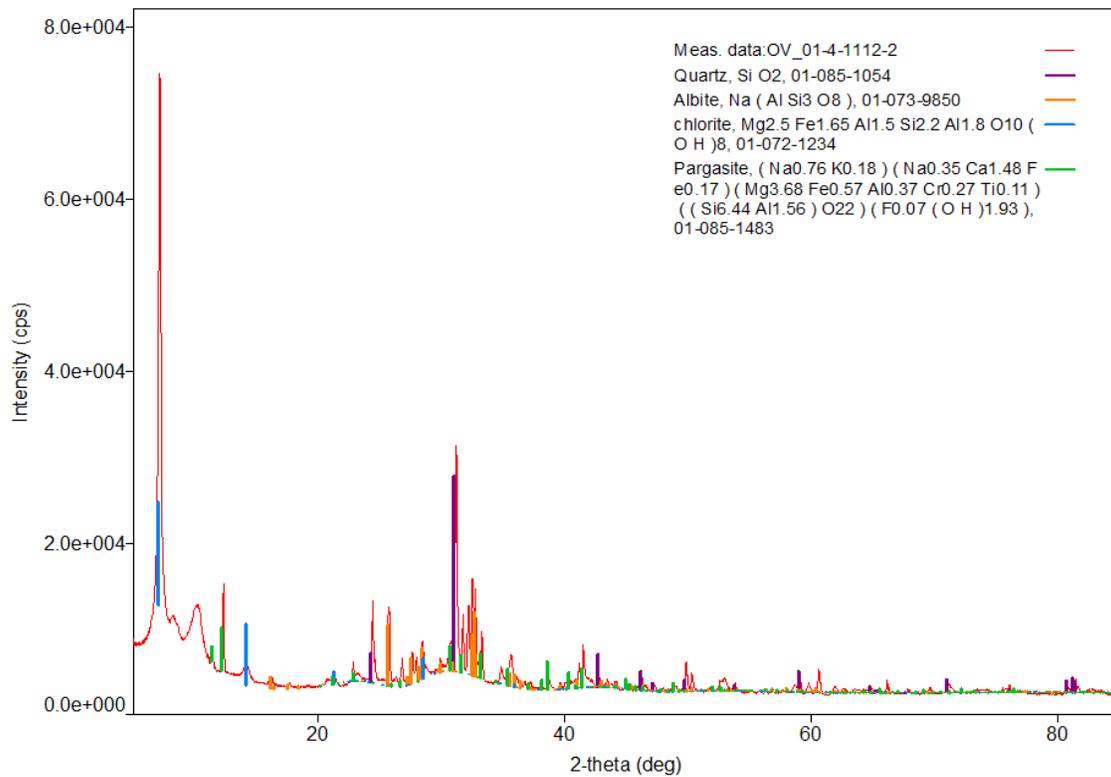


Figura G.6: Difractograma para muestra OV01.

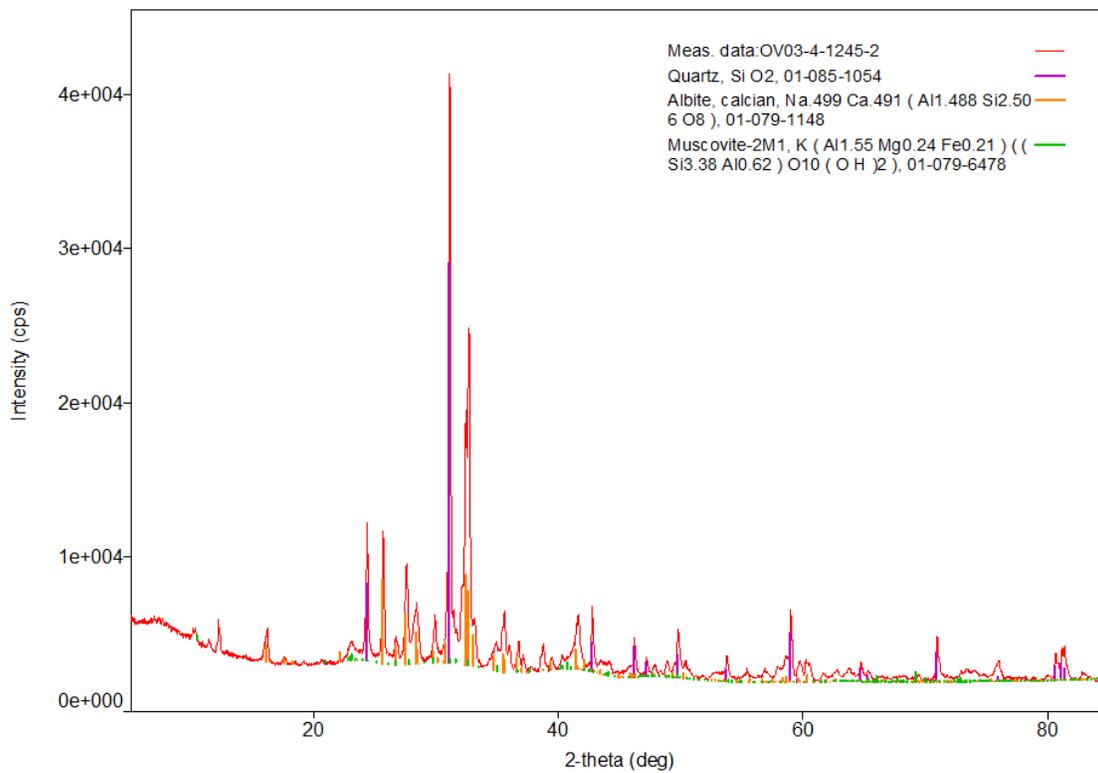


Figura G.7: Difractograma para muestra OV03.

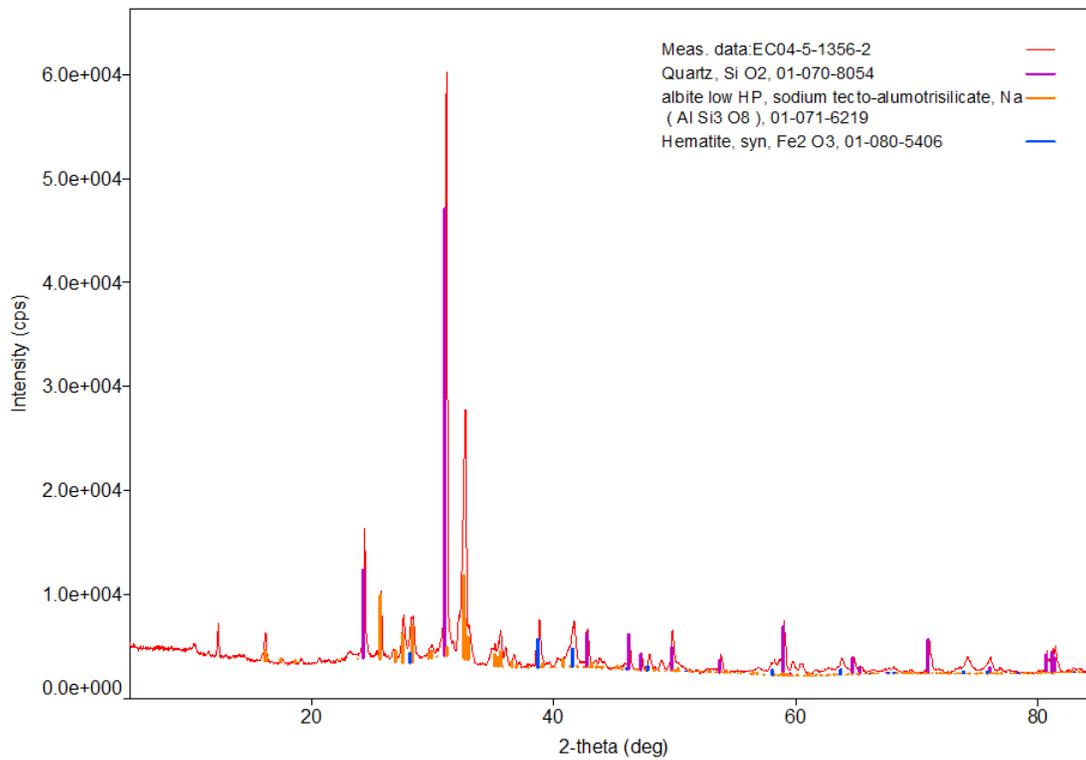


Figura G.8: Difractograma para muestra EC04.

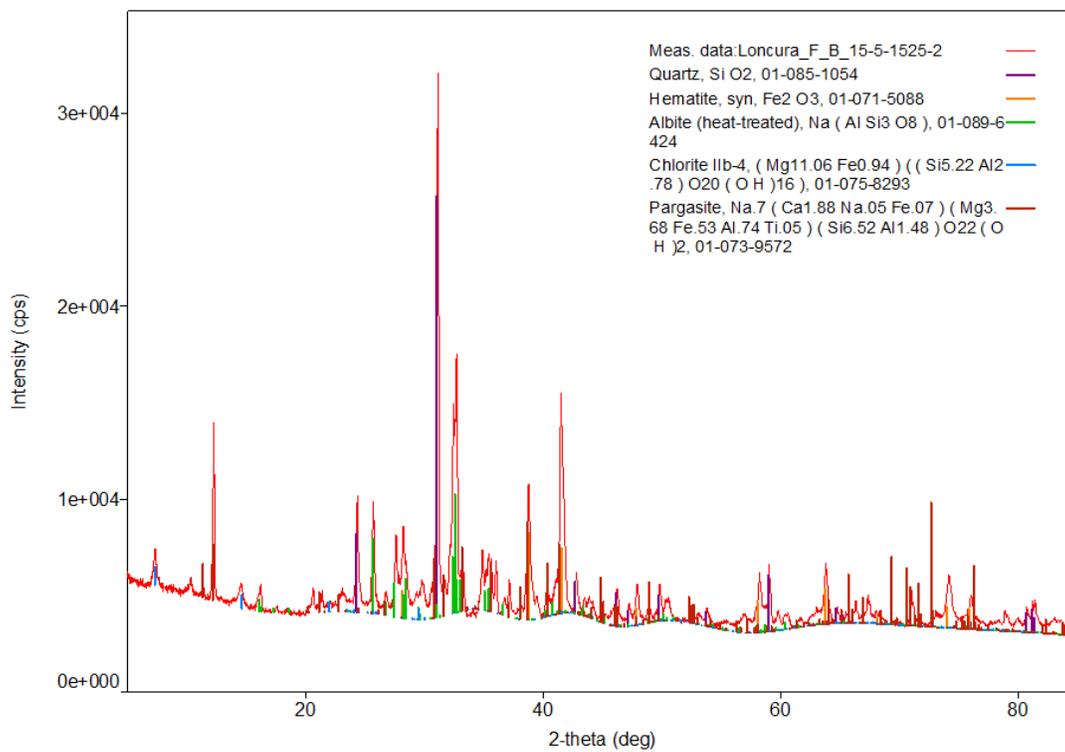


Figura G.9: Difractograma para muestra Loncura FB15.

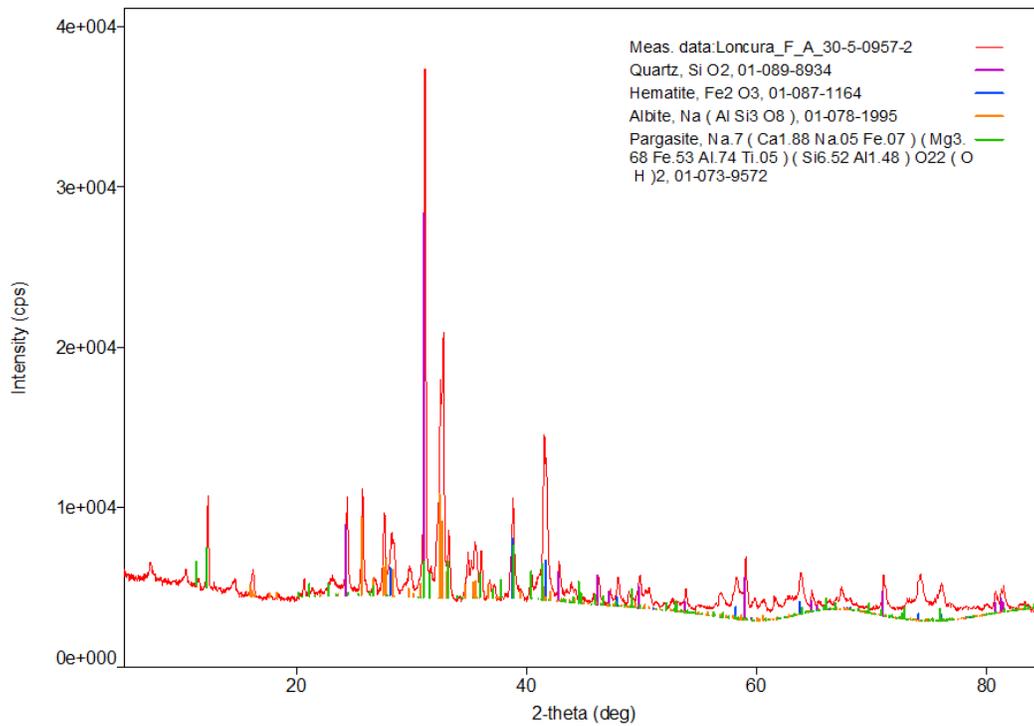


Figura G.10: Difractograma para muestra Loncura FA30.

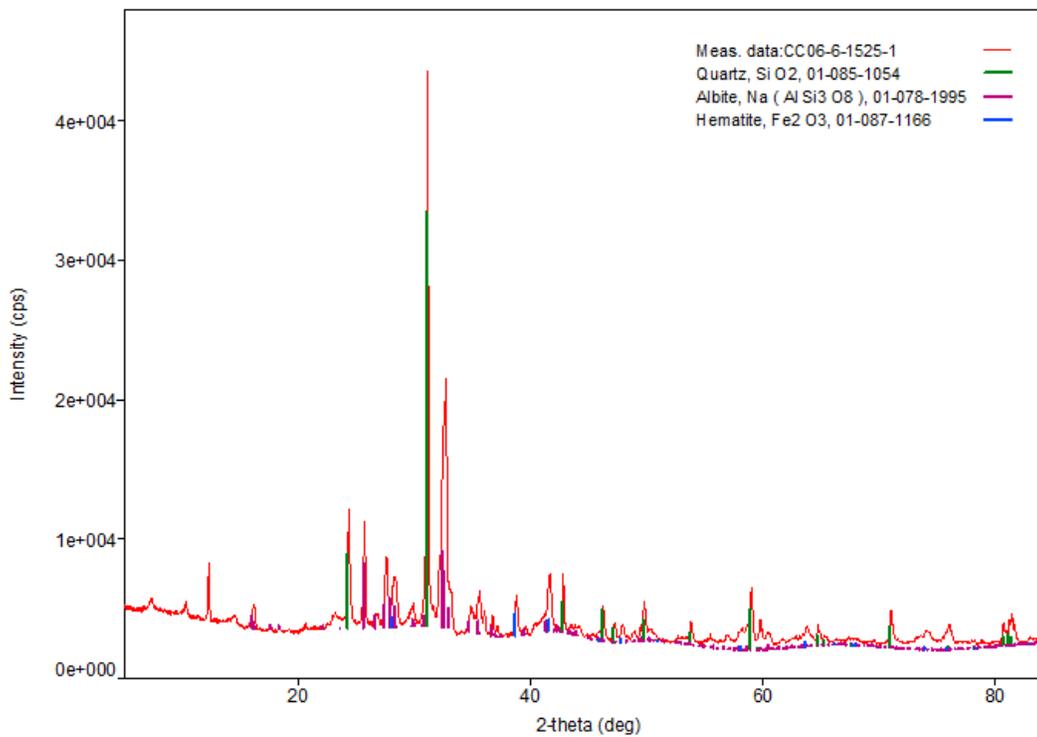


Figura G.11: Difractograma para muestra CC06.

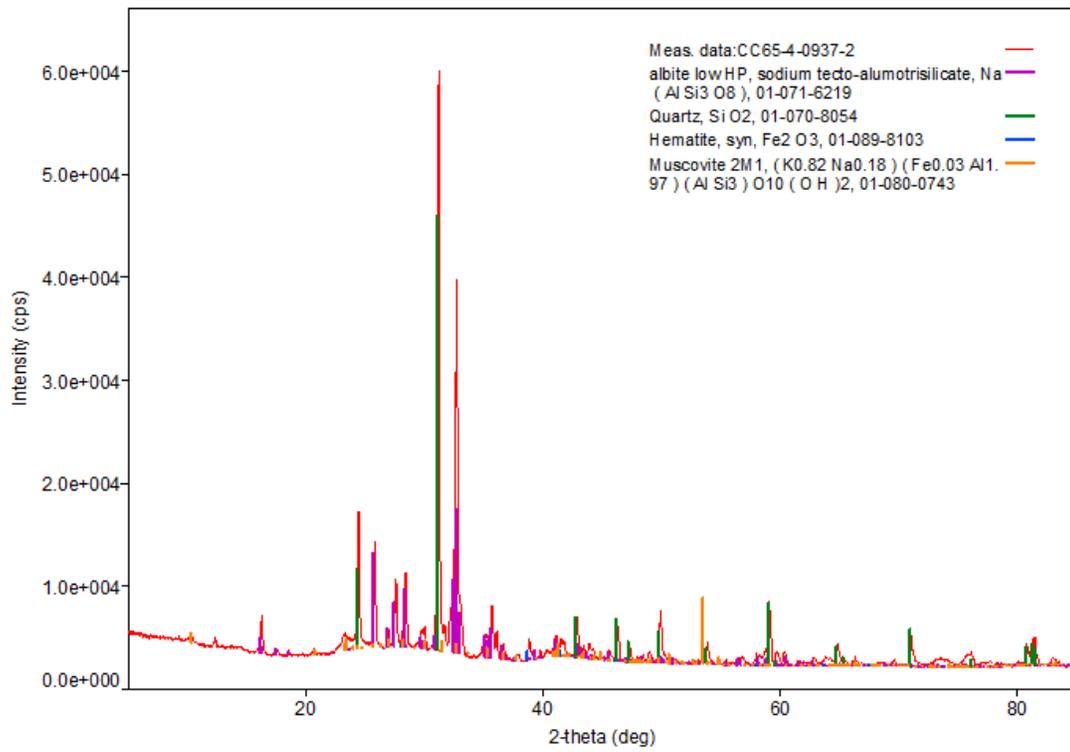


Figura G.12: Difractograma para muestra CC65.

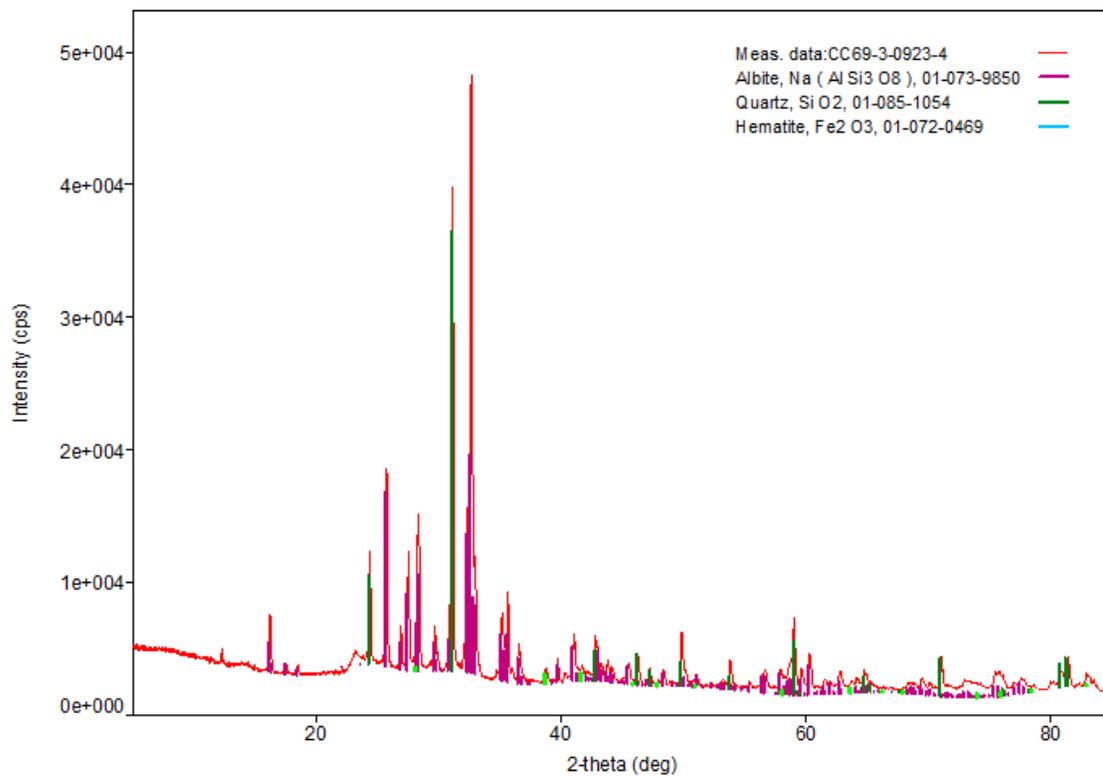


Figura G.13: Difractograma para muestra CC69.

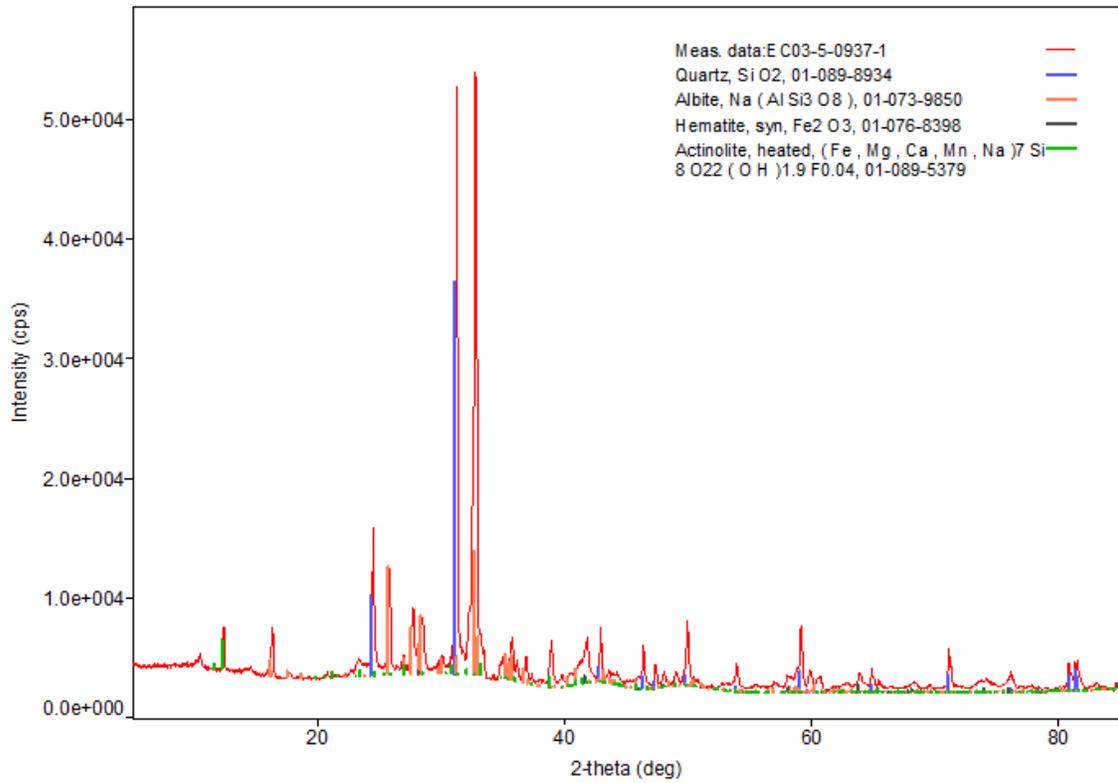


Figura G.14: Difractograma para muestra EC03.

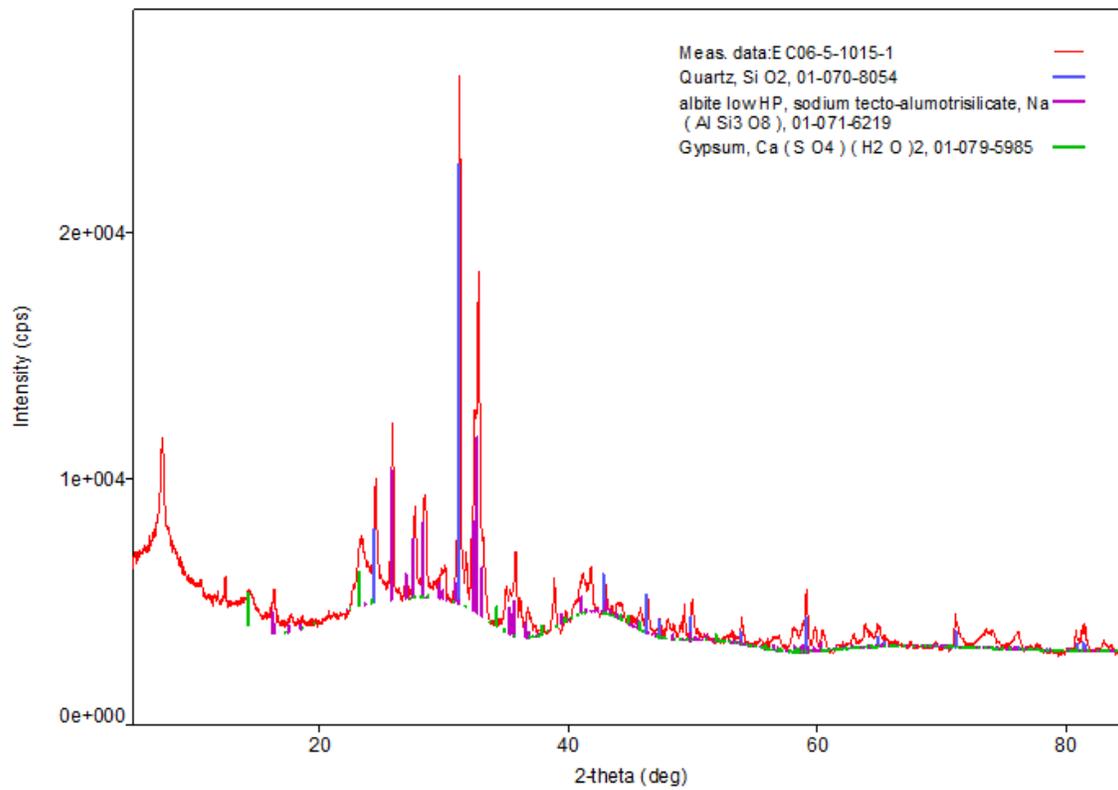


Figura G.15: Difractograma para muestra EC06.



SAMPLE = EC13udf

XPowderX Ver. 2019.06.10₀

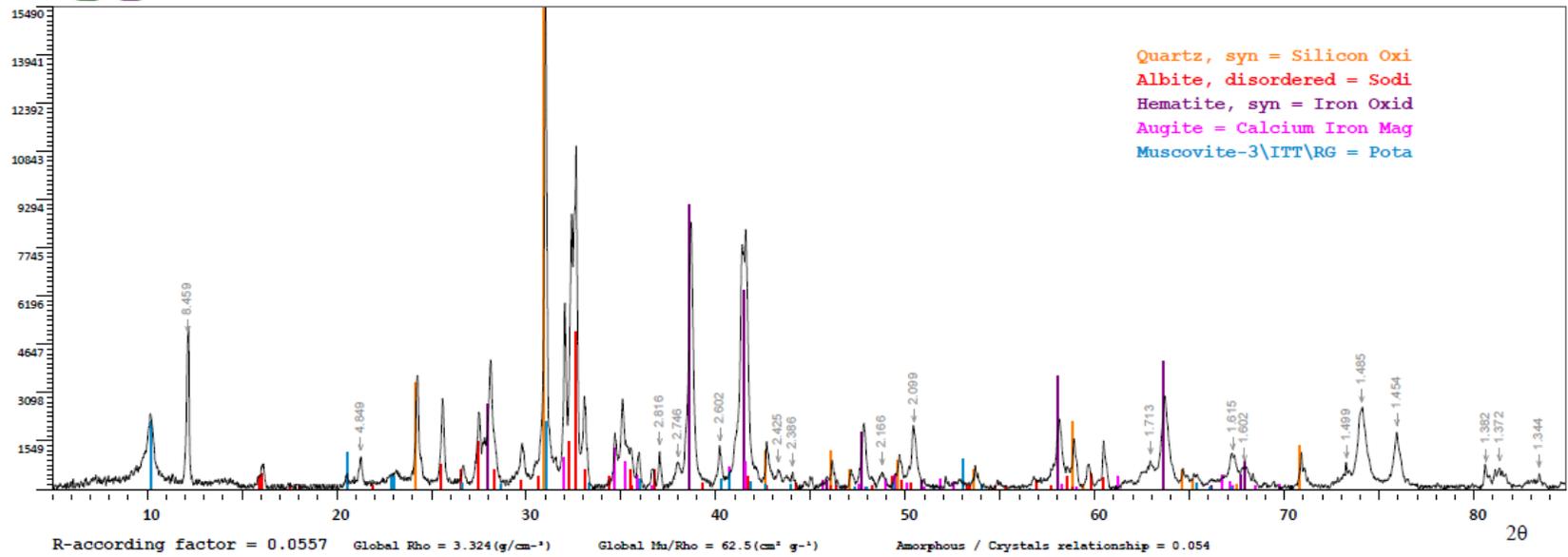


Figura G.16: Difractograma para muestra EC13.

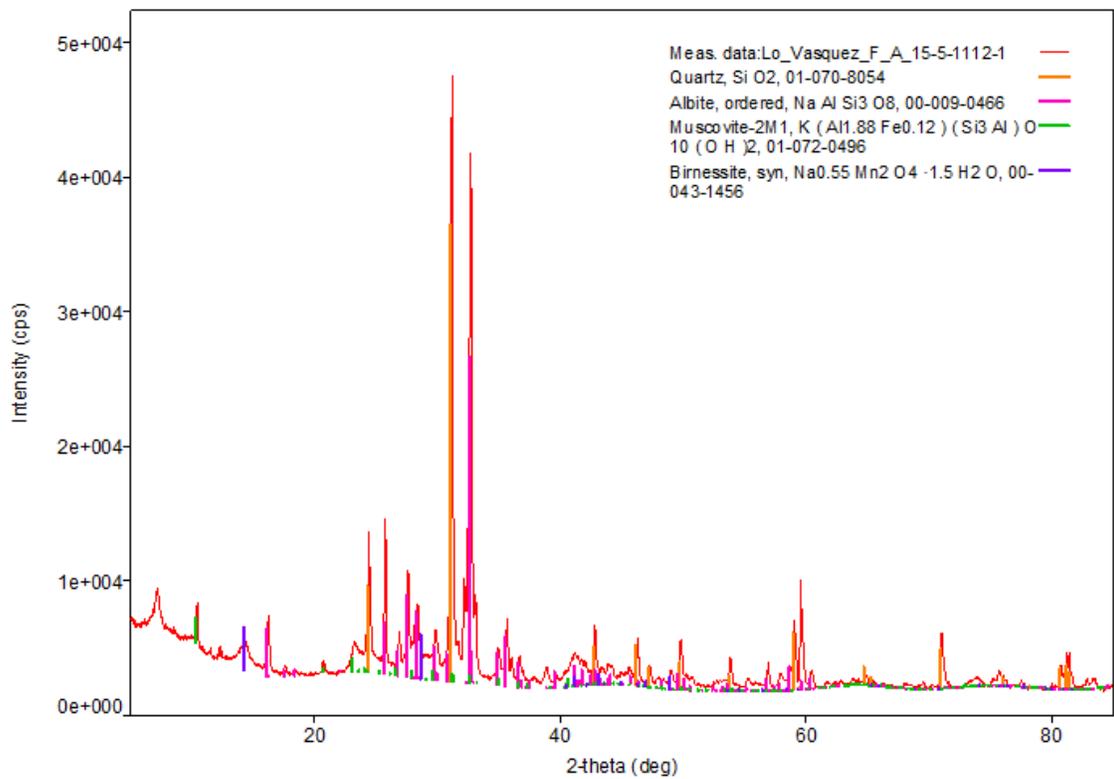


Figura G.17: Difractograma para muestra Lo Vásquez FA15.

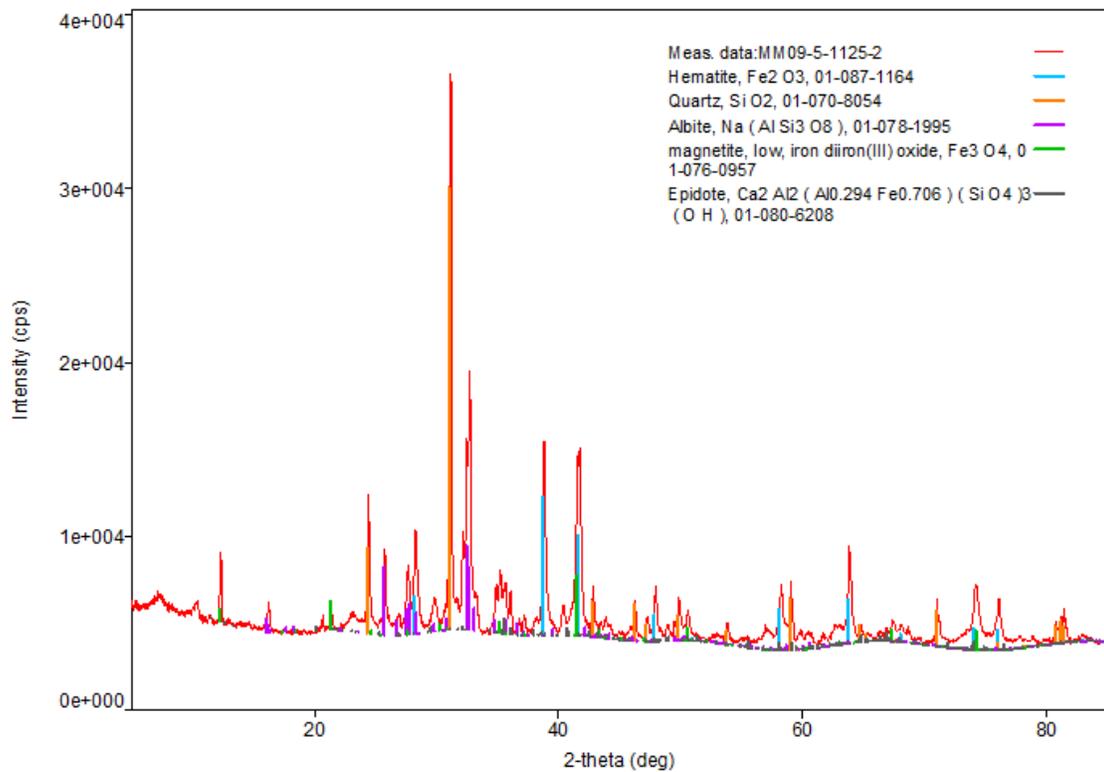


Figura G.18: Difractograma para muestra MM09.

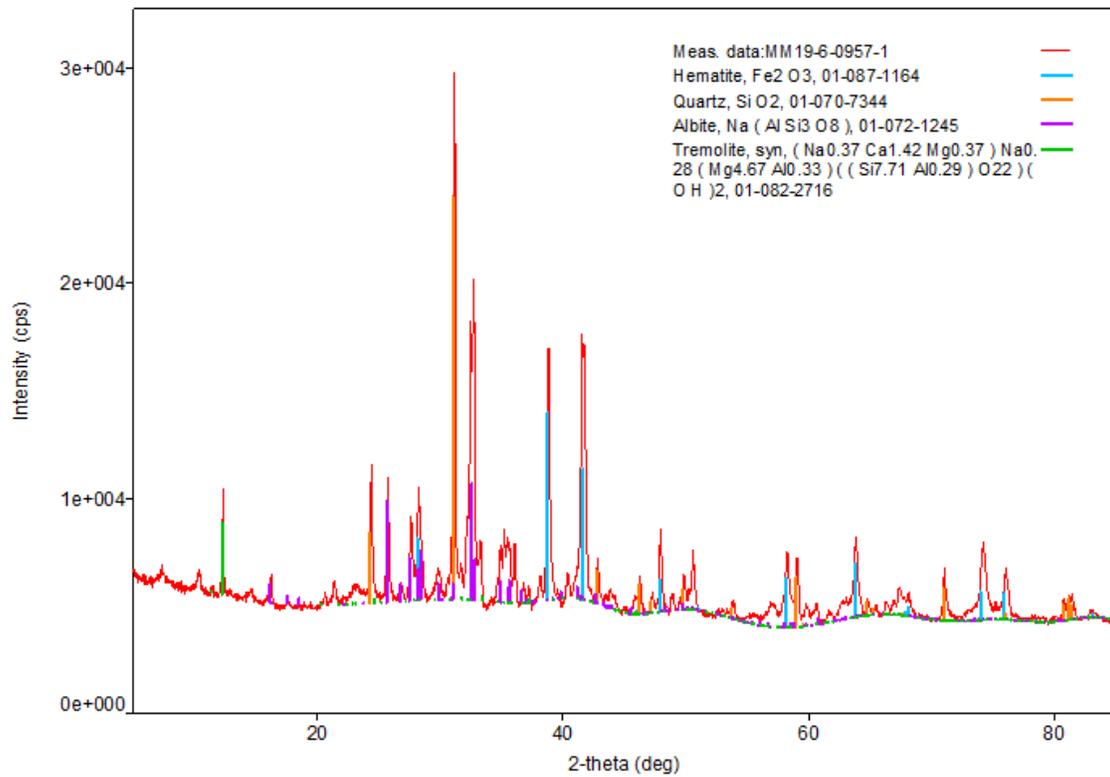


Figura G.19: Difractograma para muestra MM19.

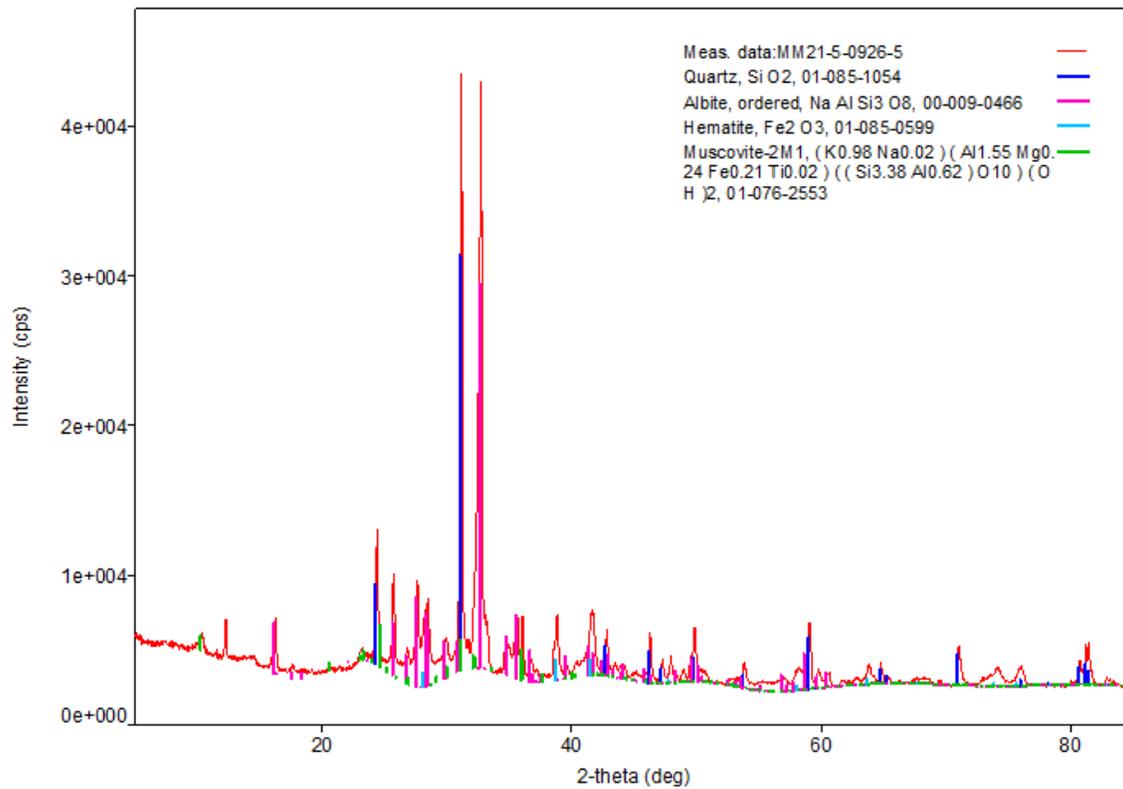


Figura G.20: Difractograma para muestra MM21.

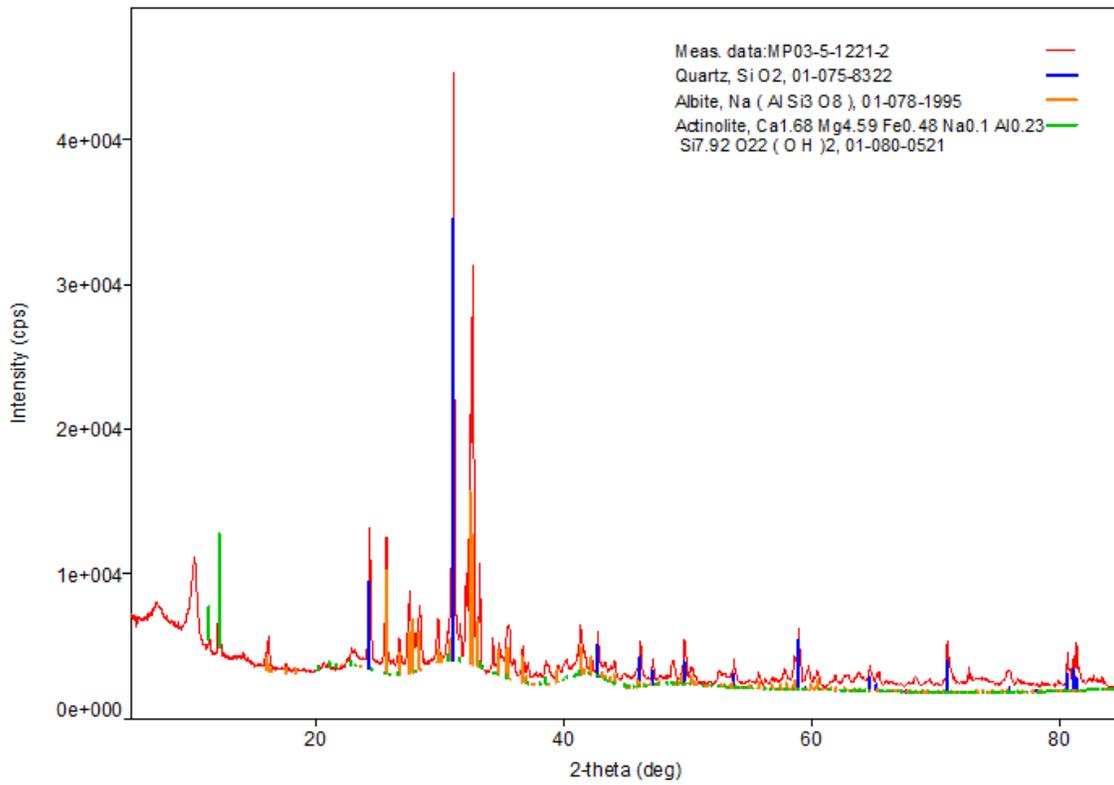


Figura G.21: Difractograma para muestra MP03.

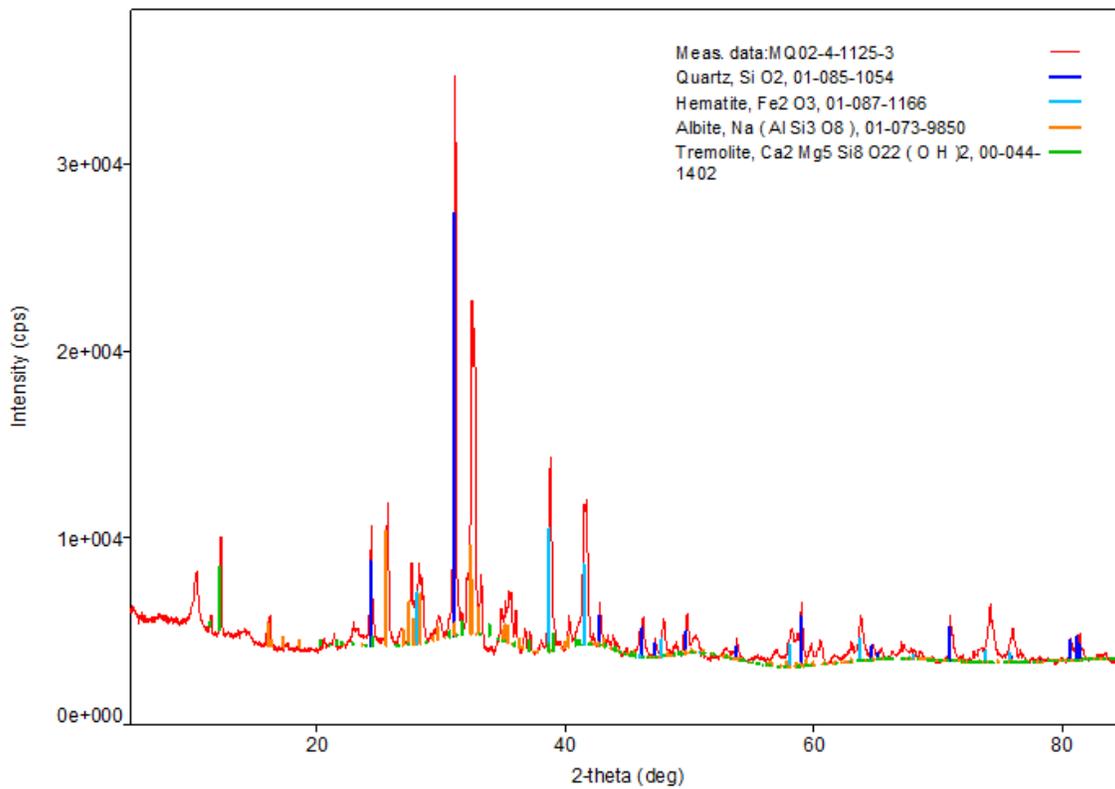


Figura G.22: Difractograma para muestra MQ02.

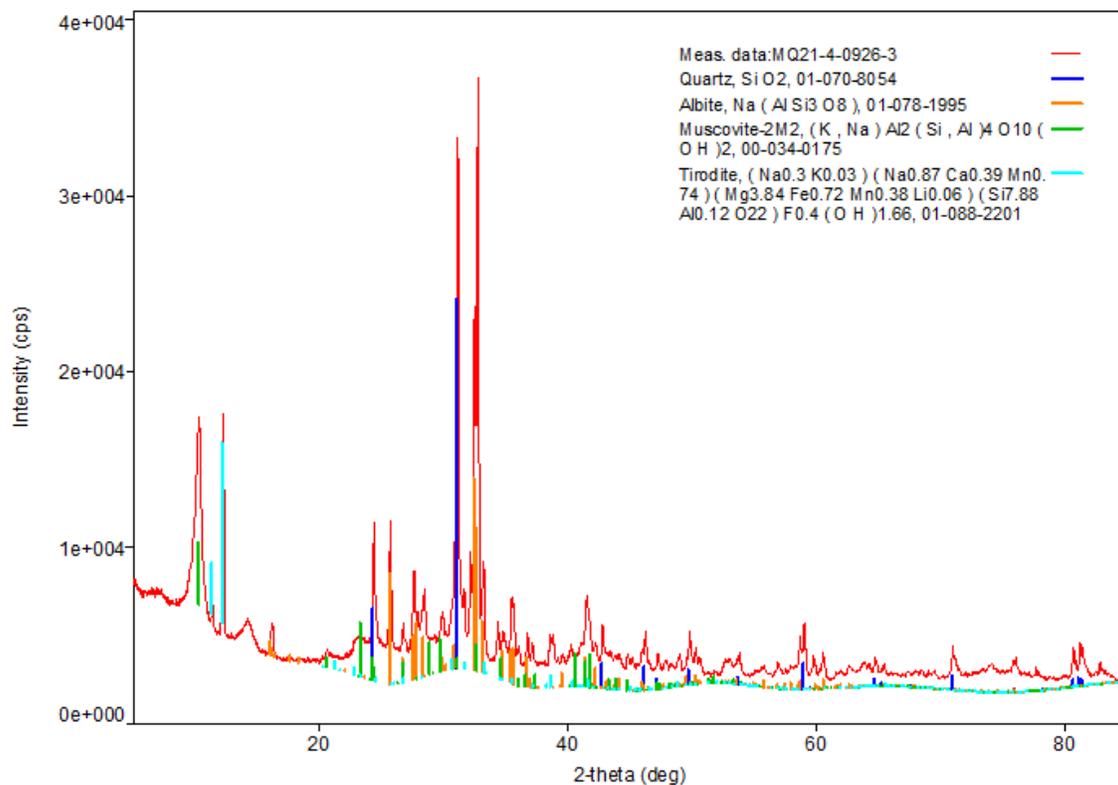


Figura G.23: Difractograma para muestra MQ21.

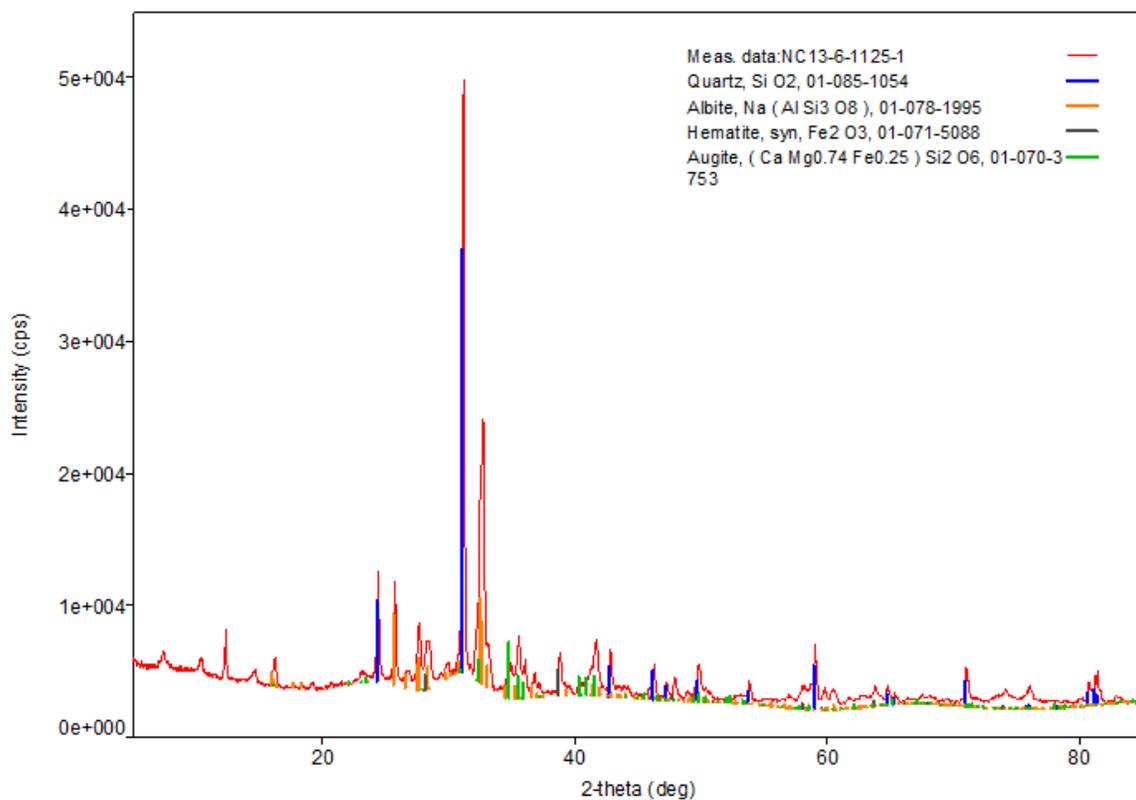


Figura G.24: Difractograma para muestra NC13.

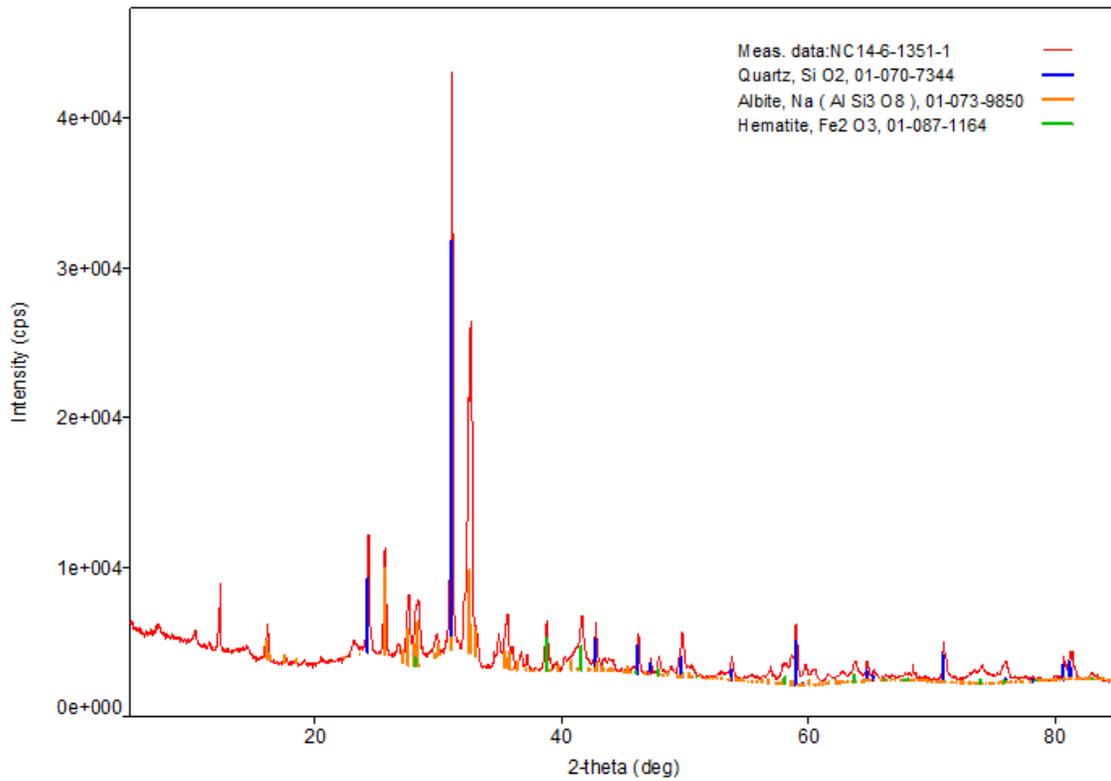


Figura G.25: Difractograma para muestra NC14.

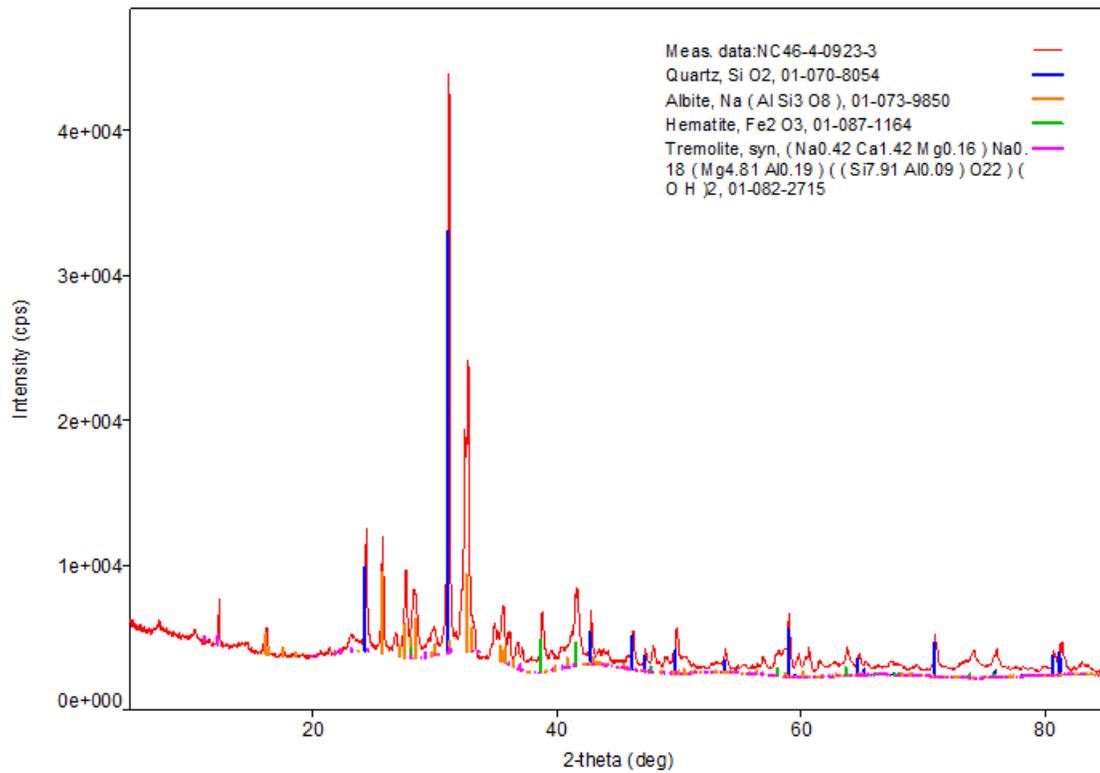


Figura G.26: Difractograma para muestra NC46.

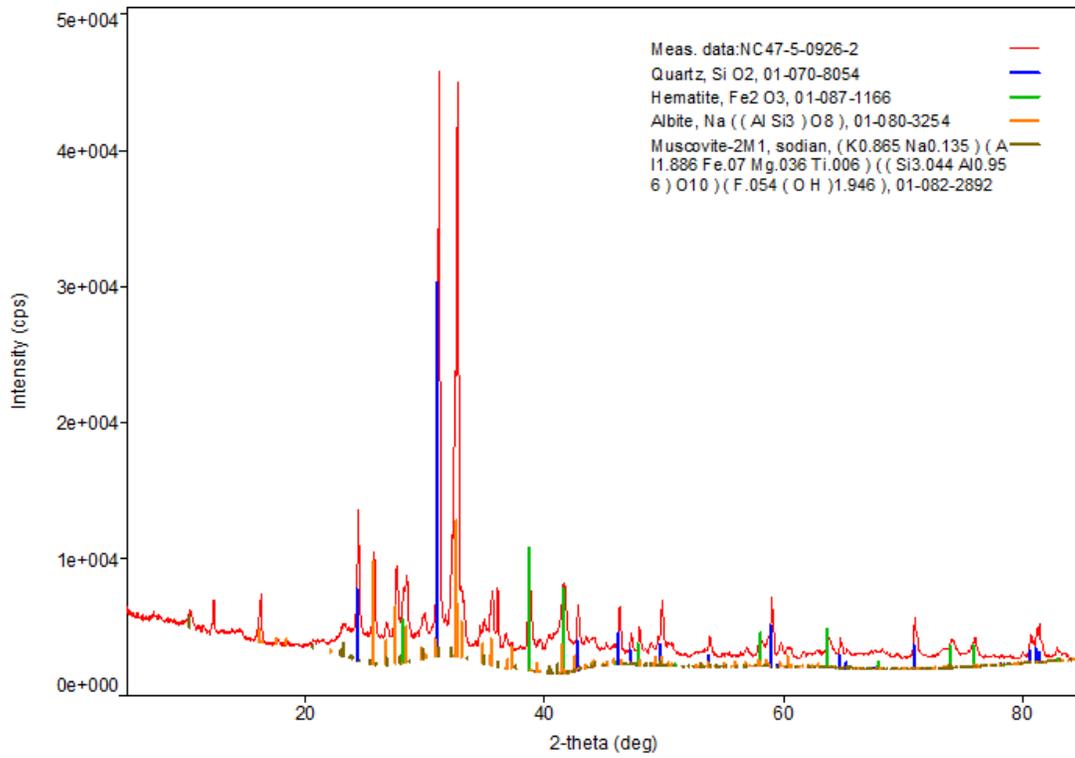


Figura G.27: Difractograma para muestra NC47.

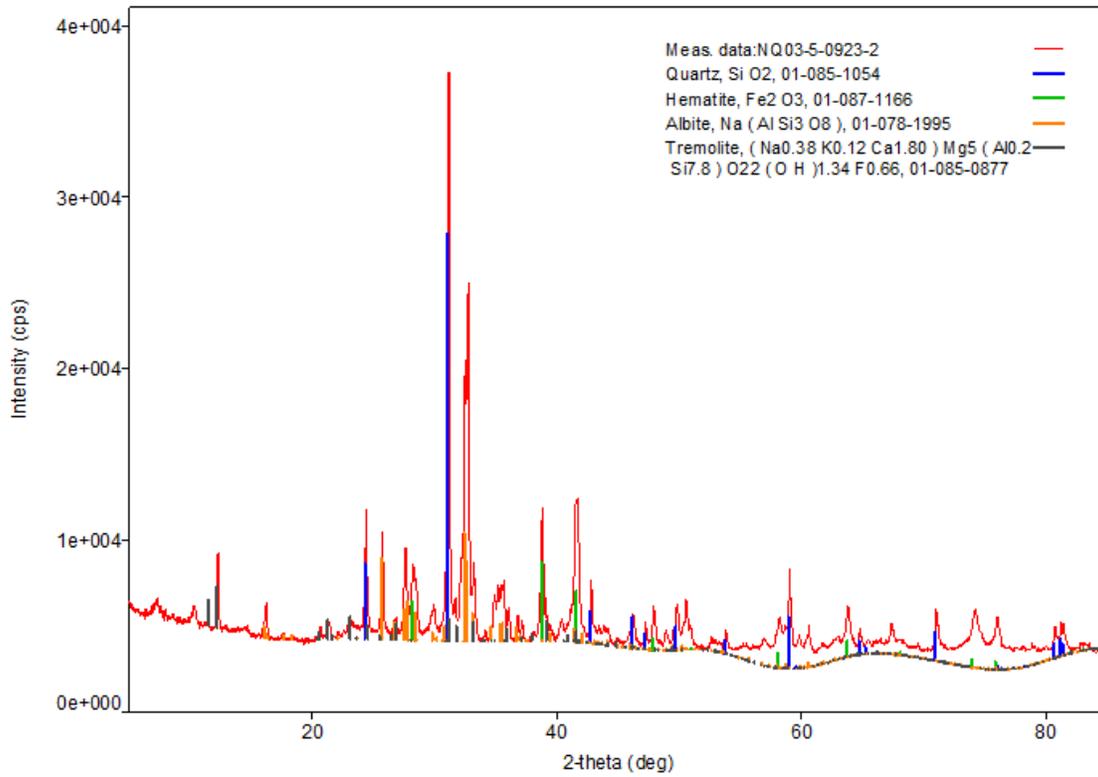


Figura G.28: Difractograma para muestra NQ03.

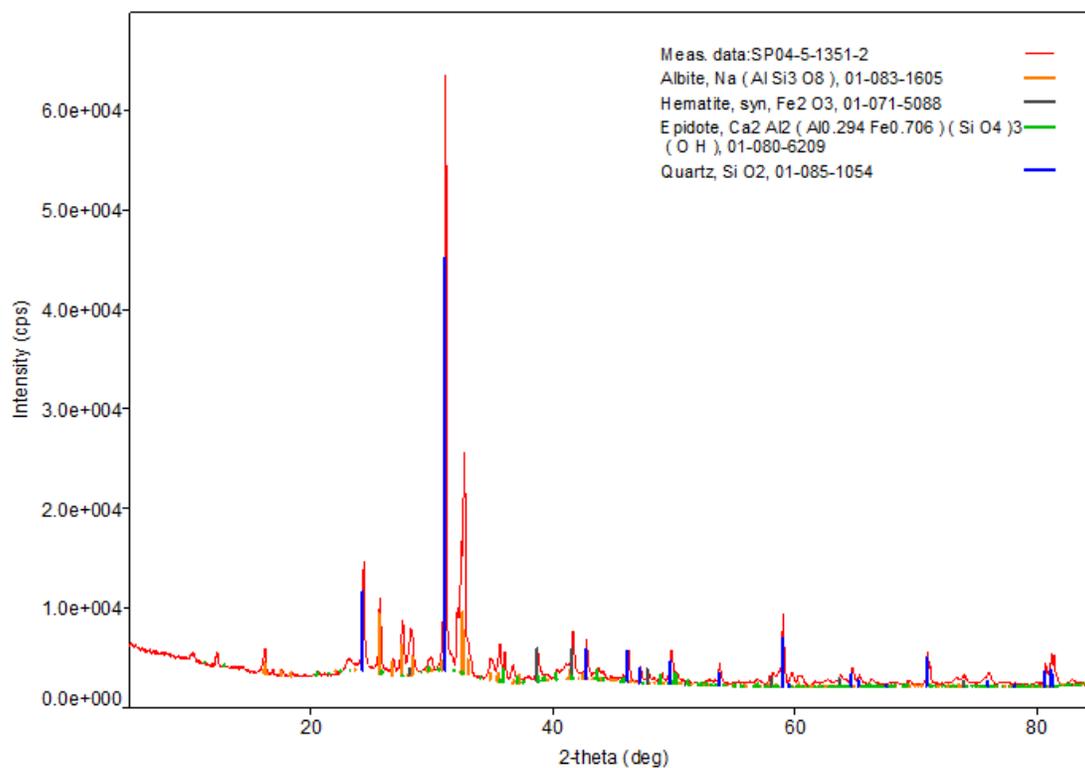


Figura G.29: Difractograma para muestra SP04.

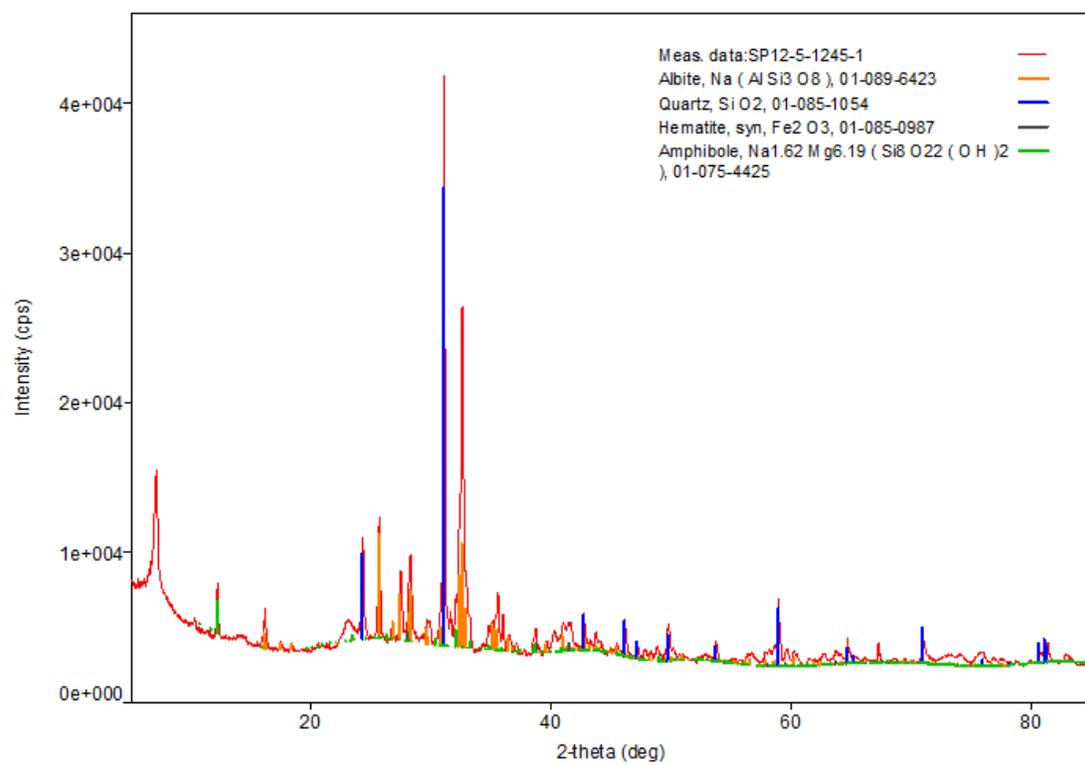


Figura G.30: Difractograma para muestra SP12.