

**UNIVERSIDAD DE ATACAMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**CONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN TEMPORO-ESPACIAL DEL COBALTO,  
TIERRAS RARAS Y OTROS ELEMENTOS ESTRATÉGICOS EN EL SECTOR  
CERRO RELINCHO Y PORTEZUELO POBLETE, REGIÓN DE ATACAMA,  
CHILE**

**JEAN PIERRE ELIAS IVAN CASTRO LOPEZ**

**Copiapó, Chile 2023**

**UNIVERSIDAD DE ATACAMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**CONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN TEMPORO-ESPACIAL DEL COBALTO,  
TIERRAS RARAS Y OTROS ELEMENTOS ESTRATÉGICOS EN EL SECTOR  
CERRO RELINCHO Y PORTEZUELO POBLETE, REGIÓN DE ATACAMA,  
CHILE**

“Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
GEÓLOGO”

Profesor guía: Dr. Wolfgang Griem

Profesor co-guía: Dr. Karl Riveros Jensen

**JEAN PIERRE ELIAS IVAN CASTRO LOPEZ**

**Copiapó, Chile 2023**

## **Agradecimientos**

Agradecer a todas las personas que me aman y que me apoyan en cada una de las decisiones que tomo en mi vida, en especial a mi familia y amigos los cuales son parte fundamental de mi vida.

Académicamente agradezco a cada uno de los docentes de mi casa de estudios, los cuales entregaron conocimientos técnicos los que espero ocupar dentro de toda mi carrera profesional.

Se termina una etapa la cual costo finalizar, pero en hora buena se termina y da a inicio a nuevos desafíos, eternamente agradecido con cada una de las personas del proceso las cuales me hicieron tener un camino lleno de aventuras y anécdotas las cuales siempre recordare.

## Resumen

En vista del rápido avance tecnológico experimentado por la sociedad actual, surge la urgente necesidad de encontrar fuentes que puedan abastecer las materias primas requeridas para la fabricación de dispositivos tecnológicos. Elementos como el cobalto, litio, níquel y las tierras raras, entre otros, desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías. Por esta razón, la mayoría de los países industrializados llevan a cabo investigaciones para categorizar estos elementos como estratégicos y/o críticos, considerando variables como su importancia económica y disponibilidad. Estos elementos se encuentran en diversos tipos de depósitos minerales, como las menas primarias o secundarias. Entre estos depósitos, destacan los IOCG o IOA, caracterizados por contener minerales de óxidos de hierro, cobre, oro y otros elementos en concentraciones traza (como cobalto, níquel, tierras raras y uranio). En Chile, estos depósitos se agrupan en la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa, de edad Jurásico-Cretácico Temprano. Los depósitos cercanos al área de Hacienda Toledo/Sierra Monardes (comuna de Copiapó, región de Atacama) están espacialmente incluidos en esta franja. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es determinar mediante análisis de fluorescencia de rayos X en muestras de rocas extraídas de estos depósitos si existen concentraciones anómalas de elementos considerados estratégicos, obteniéndose que en el sector de estudio existen 9 elementos (cerio, cobalto, hafnio, itrio, lantano, manganeso, torio, uranio y vanadio) de interés, los cuales poseen un factor de enriquecimiento de 5 o más con respecto a la concentración en la corteza terrestre, estos están distribuidos heterogéneamente en las 14 zonas de estudios y se hospedan principalmente en minerales de óxidos de hierro (hematita y magnetita), minerales de óxidos de cobre (crisocola, atacamita y malaquita) y minerales de cobre de fases negras conocidas como *copper wad*. La génesis de estos elementos estratégicos se relaciona con fluidos hidrotermales formados por la intrusión de cuerpos magmáticos ígneos, específicamente los plutones Sierra Chicharra y Cerro Morado que se produjeron durante el Cretácico Inferior, entre hace 132 y 119 millones de años. Estos fluidos se desplazaron a través de las estructuras geológicas de la región de estudio, que forman parte del Sistema de Fallas Atacama.

## Abstract

In light of the rapid technological advancement experienced by contemporary society, there is an urgent need to find sources capable of supplying the raw materials required for the manufacture of technological devices. Elements such as cobalt, lithium, nickel, and rare earths, among others, play a fundamental role in the development of new technologies. For this reason, most industrialized countries conduct research to categorize these elements as strategic and/or critical, considering variables such as their economic importance and availability. These elements are found in various types of mineral deposits, such as primary or secondary ores. Among these deposits, IOCG or IOA stand out, characterized by containing minerals of iron oxides, copper, gold, and other elements in trace concentrations (such as cobalt, nickel, rare earths, and uranium). In Chile, these deposits are grouped in the Iron Belt of the Coastal Range, dating to the Jurassic-Early Cretaceous. The deposits near the Hacienda Toledo/Sierra Monardes area (Copiapó commune, Atacama Region) are spatially included in this belt. Therefore, the objective of this study is to determine, through X-ray fluorescence analysis of rock samples extracted from these deposits, if there are anomalous concentrations of elements considered strategic. The results indicate that there are 9 elements (cerium, cobalt, hafnium, yttrium, lanthanum, manganese, thorium, uranium, and vanadium) of interest, which have an enrichment factor of 5 or more. These are distributed heterogeneously in the 14 study zones and are mainly hosted in iron oxide minerals (hematite and magnetite), copper oxide minerals (chrysocolla, atacamite, and malachite), and black phase copper minerals known as *copper wad*. The genesis of these strategic elements is related to hydrothermal fluids formed by the intrusion of igneous magmatic bodies, specifically the Sierra Chicharra and Cerro Morado plutons, which occurred during the Lower Cretaceous, between 132 and 119 million years ago. These fluids circulated through the geological structures of the study area, which are part of the Atacama Fault System.

## ÍNDICE

1	Capítulo I: Introducción .....	1
1.1	Contexto de la investigación.....	1
1.2	Hipótesis. ....	2
1.3	Objetivo general.....	2
1.4	Objetivos específicos. ....	2
1.5	Área de estudio, ubicación y accesos.....	3
1.6	Estudios previos. ....	3
2	Capítulo II: Marco teórico.....	5
2.1	Marco Geológico .....	5
2.2	Geología Local.....	7
2.2.1	Unidades Sedimentarias .....	7
2.2.2	Unidades Plutónicas .....	7
2.3	Elementos estratégicos y críticos.....	9
2.3.1	Definición.....	9
2.3.2	Clasificación.....	10
2.3.1	Elementos .....	12
2.4	Depósitos IOCG.....	44
3	Capítulo III: Metodología.....	48
3.1	Etapa de pre terreno .....	48
3.2	Etapa de terreno. ....	49
3.3	Etapa de post terreno.....	49
4	Capítulo IV: Resultados. ....	51
4.1	Geología de las zonas mineralizadas .....	51
4.1.1	Sector 12.....	51
4.1.2	Sector 14.....	59
4.1.3	Sector 15.....	60
4.1.4	Sector 16.....	61
4.1.5	Sector 17.....	62
4.1.6	Sector 18.....	63
4.1.7	Sector 19.....	64
4.1.8	Sectores 20 al 27.....	65
4.2	Geoquímica de elementos estratégicos .....	67

4.2.1	General.....	67
4.2.2	Bario .....	69
4.2.3	Cadmio.....	70
4.2.4	Cerio .....	71
4.2.5	Circonio.....	72
4.2.6	Cobalto.....	73
4.2.7	Estaño .....	74
4.2.8	Hafnio.....	75
4.2.9	Itrio.....	76
4.2.10	Lantano.....	77
4.2.11	Manganeso.....	78
4.2.12	Molibdeno.....	79
4.2.13	Niobio .....	80
4.2.14	Oro .....	81
4.2.15	Plata .....	82
4.2.16	Platino.....	83
4.2.17	Plomo.....	84
4.2.18	Rubidio .....	85
4.2.19	Estroncio.....	86
4.2.20	Tántalo.....	87
4.2.21	Torio .....	88
4.2.22	Uranio .....	89
4.2.23	Vanadio.....	90
4.2.24	Wolframio.....	91
4.2.25	Resumen .....	92
4.3	Correlación de elementos.....	93
4.4	Mapas geoquímico.....	102
5	Capítulo V: Discusión.....	105
5.1	Análisis a nivel general.....	105
5.2	Interpretación sectores de estudio.....	106
5.2.1	Sector 12.....	106
5.2.2	Sector 14-16.....	107

5.2.3	Sector 17.....	107
5.2.4	Sector 18.....	108
5.2.5	Sector 19.....	108
5.2.6	Sector 20-27.....	109
5.3	Interpretación análisis macroscópico y microscópico .....	110
5.4	Elementos estratégicos.....	111
5.5	Análisis de correlación.....	111
6	Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones .....	113
6.1	Conclusiones.....	113
6.2	Recomendaciones.....	114
7	Referencias .....	115
8	Anexos.....	125

# 1 Capítulo I: Introducción

## 1.1 Contexto de la investigación.

En la actualidad, la industria minera de la región de Atacama se centra únicamente en la explotación de recursos metálicos convencionales, los cuales constituyen en gran medida el sustento de nuestra región. Como se sabe, los depósitos minerales se agotan, debido a esto surge la necesidad de explorar nuevas áreas o elementos que puedan ser fuentes de explotación en algún momento.

Además, el mercado de minerales está experimentando una reestructuración, fundamental debido a la transición energética y la búsqueda de emisiones cero, lo cual está generando un aumento en la demanda de "minerales críticos". Estos son los elementos necesarios para generar energía con bajas emisiones, tales como, el litio, el níquel, el cobalto y el grafito para el almacenamiento de energía; el cobre y el aluminio para el transporte de energía; y el sílice, el uranio y las tierras raras para la generación de energía solar, eólica y nuclear. El suministro de estos minerales no será suficiente para cubrir la demanda a corto plazo. Además, existe una notable falta de inversión en estos minerales críticos, lo que agravará el desequilibrio entre la oferta y la demanda a corto y mediano plazo. El mundo solo podrá alcanzar las metas de emisiones cero si la industria minera puede aumentar sustancialmente su producción (PwC, 2022).

Los estudios de Cifuentes (2019) y Townley *et al.* (2017) señalan que en Chile existen varios depósitos con características potenciales para la explotación de elementos como el manganeso, las tierras raras, el cobalto, entre otros. Estos depósitos, en su mayoría asociados con la franja metalogénica Jurásico-Cretácica, corresponden principalmente a depósitos IOCG o IOA.

Los yacimientos del tipo IOCG en otras partes del mundo y en Chile se caracterizan por una impronta geoquímica de Fe-Cu-Au, junto con elementos del grupo de las tierras raras (REE), el cobalto, el uranio y el torio. En el caso de los yacimientos IOCG chilenos, como Manto Verde, Candelaria y distrito Punta del Cobre, aunque

comparten similitudes en su huella geoquímica, no se ha investigado la ocurrencia mineral ni las concentraciones de estos elementos desde una perspectiva de potencialidad de recuperación metalúrgica (Townley *et al.*, 2017).

Con todos estos antecedentes surge la necesidad de re-explorar lugares de nuestra región, en este caso en particular el sector de Cerro Relincho y Puertezuelo Poblete, ya que es parte de la franja metalogénica Jurásica-Cretácica y existen labores mineras en las cuales se encuentran las improntas geoquímicas de depósitos IOCG.

## **1.2 Hipótesis.**

En esta tesis se hipotetiza que la ocurrencia de anomalías asociadas al cobalto está estrechamente relacionada con los depósitos IOCG o IOA de la franja metalogénica de la Cordillera de la costa, que tienen una edad Jurásica-Cretácica. Esto se debe a que el cobalto está íntimamente ligado al hierro, ya que es un metal siderófilo, es decir, muestra una gran afinidad por el hierro. Por lo tanto, es razonable esperar que en los depósitos minerales del sector Cerro Relincho y Portezuelo Monardes existan concentraciones anómalas de este mineral, las cuales podrían tener un interés económico y, por ende, su posible extracción y explotación.

## **1.3 Objetivo general.**

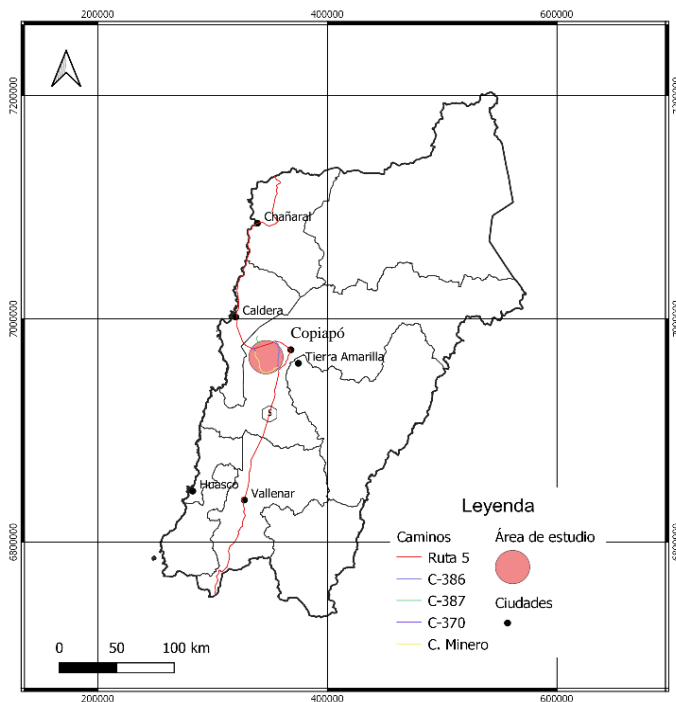
- Determinar la concentración y distribución temporo-espacial del Cobalto, Tierras Raras y otros elementos estratégicos en el sector Cerro Relincho y Portezuelo Poblete.

## **1.4 Objetivos específicos.**

- Definir unidades litológicas, zonas de alteración y mineralización
- Definir targets de exploración en base a las evidencias geológicas.
- Identificar anomalías geoquímicas de elementos estratégicos.

## 1.5 Área de estudio, ubicación y accesos

El área de estudio se ubica entre el pueblo de San Pedro y el peaje de Copiapó-Caldera, formando parte de la comuna de Copiapó, en la región de Atacama. Esta zona se encuentra a 25 km al oeste de la ciudad de Copiapó y se accede tomando la ruta 5 hacia el norte, y posteriormente tomando la ruta C-387 para dirigirse a Cerro Relincho en el área norte, y las rutas C-386 y C-370 para rodear Portezuelo Poblete en el área sur)



**Figura 1-1.1** Ubicación y accesos de la zona de estudio. Elaboración propia

## 1.6 Estudios previos.

Segerstrom *et al.* (1960) realizaron el mapeo del sector Chamonate a escala 1:50.000.

Henríquez (1978) señaló la posibilidad de valorizar los yacimientos del cinturón de hierro chileno mediante la extracción de subproductos como Co, Ni, U, Ti, Cr, etc.

Vivallo *et al.* (1994) llevaron a cabo un estudio geológico y de mineralización detallado del distrito ferrífero de Cerro Imán, adyacente a la ciudad de Copiapó.

Vivallo *et al.* (1998) estudiaron la formación de depósitos estratoligados y vetiformes de Cu en la Cordillera de la Costa, en la región de Antofagasta, y encontraron concentraciones anómalas de Co-Ni y tierras raras.

Arévalo (2005) desarrolló la Carta de Copiapó a escala 1:100.000 para el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Díaz y Vivallo (2006) vincularon ciertos depósitos de Fe-Cu-AU con el magmatismo cretácico inferior.

Sellés *et al.* (2007) aplicaron una estrategia de exploración para la Compañía Minera del Pacífico (CMP), mediante el estudio de la geoquímica de los cuerpos ígneos de la Franja Ferrífera de Atacama y Coquimbo.

Lacassie (2015) aplicó un análisis estadístico a las muestras obtenidas en los yacimientos de las Regiones de Atacama y Coquimbo, donde quedó en evidencia que las concentraciones de Co-Ni y Tierras raras están asociadas con los yacimientos de tipo IOCG - IOA de la Cordillera de la Costa.

Townley *et al.* (2017) realizaron estudios diversos en distritos mineros pertenecientes a la Franja Ferrífera de la región de Atacama y Coquimbo, los cuales sugieren la existencia de concentraciones anómalas de Co, Mn y tierras raras, que en algunos casos podrían explotarse.

## 2 Capítulo II: Marco teórico

### 2.1 Marco Geológico

A partir del Triásico Tardío a Jurásico Temprano, el Complejo Epimetamórfico Chañaral fue intruido por plutones gabroicos a monzograníticos, los cuales cornificaron y localmente gneisificaron esta unidad. Se propone que este magmatismo bimodal se habría desarrollado durante la fase extensional que precedió al quiebre de Gondwana durante el Triásico Superior-Jurásico Inferior (Godoy *et al.*, 2003).

Fue precisamente desde el Jurásico Inferior hasta el Cretácico Inferior cuando se produjo la subducción en un continente sólido dominado por un régimen extensional. Luego, a finales del Mesozoico, hace unos 80 millones de años, se produjo un salto muy importante que modificó la dinámica del margen andino (Camus, 2003). Es por esto que, la evolución geológica del norte de Chile durante el ciclo andino se ha dividido en tres fases: (1) del Jurásico tardío al Cretácico tardío; (2) del Cretácico tardío al Eoceno medio; y (3) del Eoceno tardío al presente (Charrier *et al.*, 2007).

La primera etapa se registró al norte de los 39°S y se caracterizó por el desarrollo de un arco magmático orientado de norte a sur a lo largo de la actual cordillera de la costa y una cuenca trasarco al este del arco. La subducción fue de tipo mariana, por lo que prevaleció un régimen tectónico extensional en el margen continental, una intensa actividad magmática a lo largo del arco y una importante sedimentación en la cuenca de trasarco (Camus, 2003), evento que también dio lugar a la formación de la Zona de Falla de Atacama (Creixell *et al.*, 2015).

Esta primera fase se divide en dos; la primera subfase (Jurásico Inferior-Kimmeridgiano) se caracteriza por una intensa actividad en el arco y el desarrollo de un ciclo marino transgresivo-regresivo en la Cuenca del trasarco, bajo un régimen extensivo que favoreció la actividad magmática, la sedimentación abundante en la

cuenca del tras arco y, al mismo tiempo, los batolitos de enormes dimensiones que depositaron estas secuencias volcánicas (Formación La Negra; Formación Punta del Cobre). Al final de esta primera subetapa, se inició una fase de hundimiento tectónico, seguida de un hundimiento térmico. El siguiente subestadio (Kimmeridgiano al Aptiano – Albiano) se caracteriza por una actividad más débil del arco, que se desplaza progresivamente hacia el este, y por un segundo ciclo de transgresión-regresión marina en la cuenca del trasarco (Charrier *et al.*, 2007), atestiguado por el Grupo Chañarcillo (Segerstrom y Parker, 1959). Desde el Jurásico Medio al Cretácico Temprano, se emplazaron hacia el este tres franjas principalmente de dioritas (plutones Sierra El Roble, Cerro Moradito y Cerro Morado) que evidencian una franca reinstauración de la subducción, por lo menos a partir del Jurásico Medio, y marcan una migración del arco magmático hacia el este. Durante el emplazamiento de estos cuerpos plutónicos se producen al menos dos eventos metalogénicos, uno durante el Jurásico Medio y otro en el Cretácico Temprano, todos ellos relacionados con la etapa de enfriamiento de los plutones. (Godoy *et al.*, 2003). Además, restos de una potente unidad, compuesta por bancos de areniscas y limolitas de hasta 3 m, con un moderado manteo al SSE y profundamente intruida por filones andesíticos y leucograníticos (Complejo Quebrada Poblete), afloran al este de esta franja plutónica cretácica temprana. El conjunto presenta los efectos de diversas combinaciones de metamorfismo de contacto y dinámico. Si bien este doble metamorfismo ha obliterado gran parte de los rasgos primarios, las características conservadas permiten interpretar sus protolitos sedimentarios como depósitos lacustres, epiclásticos finos a piroclásticos re TRABAJADOS que se depositaron, probablemente durante el Triásico-Jurásico. (Godoy *et al.*, 2003). Esta subetapa culmina con una intensa deformación asociada a un intenso régimen compresivo, conocido como fase peruana del Cretácico Superior, que da lugar a la aparición del margen continental y a la inversión de la cuenca del tras arco (Charrier *et al.*, 2007). Las rocas de la Cordillera de la costa fueron desplazadas sinistralmente a lo largo de la traza principal y de la rama occidental del Sistema de Fallas de Atacama (SFA), de manera dúctil, bajo facies de esquistos verdes y, probablemente a temperaturas menores a las magmáticas, durante el

enfriamiento de plutones marginales a la traza de falla, a juzgar por la mineralogía de bajo grado de las milonitas. Movimientos sinestrales han sido datados en segmentos del SFA en la zona de Chañaral (Dallmeyer *et al.*, 1996) y Antofagasta (Scheuber y Andriessen, 1990) en alrededor de 125 Ma.

A partir del Mioceno Medio y hasta el Plioceno se depositan sobre la Cordillera de la Costa y Precordillera extensas cubiertas de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales (Gravas de Atacama, Depósitos aluviales y coluviales antiguos). Estos depósitos se habrían formado durante un período de agradación regional a gran escala, producido como consecuencia de un alzamiento generalizado del Altiplano, a partir del Mioceno Medio, en los inicios del proceso de disminución del ángulo de subducción entre los 28° y 33° (Mpodozis *et al.*, 1995).

## **2.2 Geología Local**

En el área de estudio están presentes 4 unidades litológicas, las que serán descritas en los siguientes párrafos.

### **2.2.1 Unidades Sedimentarias**

Estratos de Quebrada Poblete (Triásico-Jurásico Inferior), es un conjunto foliado y cornificado de rocas arenosas, limolíticas a tobáceas, definido como una secuencia monoclinal de moderado manteo al sursureste, de rumbo nornoreste, y espesor cercano a los 1.000 m, compuesta por estratos de potencia decimétrica a métrica (Godoy *et al.*, 2003). Aparece limitado hacia el oeste por el contacto por falla con tonalitas del Plutón Cerro Morado y hacia el este con el contacto intrusivo milonitizado con dioritas del Plutón Sierra Chicharra. Las rocas miloníticas del borde oriental forman parte de la Zona de Cizalle Chamonate, rama occidental de la traza principal del SFA. (Arévalo, 2005).

### **2.2.2 Unidades Plutónicas**

Plutón Cerro Morado (Cretácico Inferior, 140-137 Ma), cuerpo plutónico tonalítico a diorítico, que aflora como una franja nornoreste con forma rectangular, de casi 100 km de largo y 13 km de ancho máximo. Al oeste, su borde lo constituye el contacto intrusivo con el Plutón Cerro Moradito (Dallmeyer *et al.*, 1996). Al este, limita con volcanitas de la Formación La Negra, a través de un borde milonitizado, con los

plutones La Borracha, La Brea y Sierra Chicharra, y con los Estratos de Quebrada Poblete, a través de la Falla Poblete. (Arévalo, 2005).

Diorita Cuarcifera Sierra Chicharra (Cretácico Inferior, 128-125 Ma), cuerpo intrusivo compuesto por dioritas cuarcíferas, alargado por unos 40 km en dirección NNE desde la Sierra Chamonate, en el norte, donde aparece acuñado entre dioritas del Plutón Cerro Morado y metaandesitas de la Formación La Negra, hasta la Sierra Chicharra, en el sur (Godoy *et al.*, 2003), donde alcanza su máximo ancho (7 km). Limita al oeste con un contacto intrusivo plano de inclinación moderada al este-sureste (45-50°), que lo pone en contacto con areniscas y limolitas de los Estratos de Quebrada Poblete (Godoy *et al.*, 2003). El contacto mismo y las rocas inmediatamente adyacentes, sedimentarias y plutónicas, aparecen milonitizadas. Al este, las rocas intrusivas limitan con milonitas subverticales de la traza principal del SFA, que las yuxtaponen con la Formación La Negra y los plutones La Brea y Sierra Atacama. (Arévalo, 2005).

Granodiorita de Sierra Pajas Blancas (Cretácico Inferior, 108-103 Ma), Corresponden a una serie de stocks irregulares y apófisis menores (1-8 km<sup>2</sup> de exposición) de granodioritas de colores gris claro a blanquecino, que se emplazan en volcanitas alteradas de la Formación La Negra, en las sierras Pajas Blancas e Indiana, y en los plutones La Brea y Sierra Chicharra. Incluyen variedades de granitos y monzodioritas cuarcíferas. Las granodioritas siguen una franja norte-sur de intrusivos al borde oeste de los plutones del Cretácico Inferior Alto y, en su mayoría, al oriente de las milonitas del SFA. (Arévalo, 2005).

Además de las rocas anteriores, existen unidades sedimentarias no consolidados de edad Mioceno Superior a Cuaternario, denominados por Arévalo (2005) como depósitos aluviales y coluviales antiguos. Los depósitos del Mioceno Superior al Plioceno se definen como gravas a ripios débilmente consolidadas con una matriz de granulometría tipo arena, limo o arcilla que incluyen conos aluviales, depósitos aluviales y llanuras de inundación. Los depósitos aluviales cuaternarios consisten en

depósitos no consolidados y mal clasificados de grava, ripios y arena que se transportan por gravedad y pueden dividirse en fases activas e inactivas.

## **2.3 Elementos estratégicos y críticos**

### **2.3.1 Definición**

El acelerado desarrollo industrial que se está produciendo en todo el mundo, incluyendo –y destacando- países que hasta hace no muchos años mostraban un acusado retraso, como China e India, cada vez exige disponer de mayor número de recursos naturales de todo tipo, entre los que destacan los hidrocarburos y los minerales. (Baños, 2011)

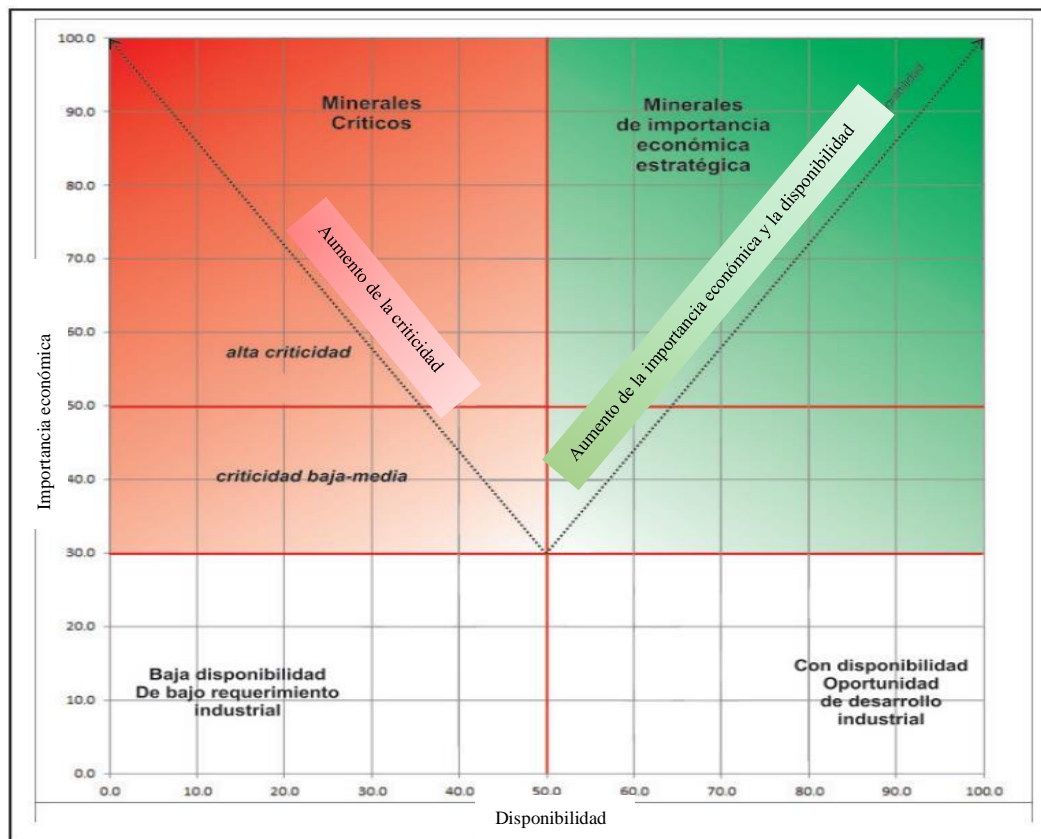
En el caso concreto de los minerales estratégicos considerados por Baños (2011) como aquellos que son fundamentales para la industria o la defensa nacional y no existen en el país; o aunque se disponga de ellos, no es posible extraerlos de modo rentable; o su producción no satisface la demanda interna, debiéndose obtener del exterior. Estos minerales son vitales en los procesos industriales de alta tecnología, especialmente en todo lo relacionado con el espacio, las comunicaciones o el armamento, y la problemática asociada a ellos es variada. En algunos casos, son recursos muy escasos. En otros, aunque existan generosos yacimientos, su extracción es muy costosa. Además, pueden estar en manos de un solo país o de un pequeño grupo de ellos, o ubicados en zonas muy inestables y sometidas a episodios de violencia que prácticamente impiden su aprovechamiento.

Según la Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), la ley de energía del 2020 definió los minerales críticos como aquellos que son esenciales para la seguridad económica o nacional de los Estados Unidos; tienen una cadena de suministro vulnerable a la interrupción; y cumplen una función esencial en la fabricación de un producto, cuya ausencia tendría consecuencias significativas para la seguridad económica o nacional de los EE. UU. La ley especifica además que los minerales críticos no incluyen los minerales combustibles, el agua, el hielo o la nieve, ni las variedades comunes de arena, grava, piedra, piedra pómez, cenizas y arcilla (Schul *et al.*, 2017).

Debido a que ambos conceptos son similares y tienden a confundirse, Regueiro (2014) concluyó que los minerales críticos pueden ser o no ser estratégicos, pero los minerales estratégicos serán siempre críticos. Además, agrega que los minerales estratégicos son aquellos para los cuales se debe elaborar un plan para lograr abastecerse de ellos, mientras que los minerales críticos, al no tenerlos, afectan fuertemente la economía del país.

### 2.3.2 Clasificación

Zappettini (2021) realiza una metodología para clasificar si un elemento es estratégico o crítico. Dentro de los aspectos a considerar para su clasificación se incluyen la disponibilidad geológica, técnica, ambiental y social, así como la geopolítica, entre otros. Como resultado de dicha metodología, se publicó el siguiente cuadro. (Figura 2-1.)



**Figura 2.1** Gráfico de clasificación de minerales o elementos críticos y estratégicos. Modificado de Zappettini (2021).

Mientras que Nassar (2021), en su metodología para determinar elementos críticos para los Estados Unidos, define el riesgo de suministro como la confluencia de tres factores principales: la probabilidad de que se produzca una interrupción del suministro en el extranjero, la dependencia del sector manufacturero estadounidense de los suministros extranjeros y la vulnerabilidad a una interrupción del suministro. A diferencia de la metodología usada por Fortier *et al.*, 2018, Nassar (2021) mantiene el indicador de dependencia neta de las importaciones, mejora el indicador de concentración de la producción centrándose en la producción fuera de Estados Unidos y ponderando la contribución de la producción de cada país productor en función de su capacidad o voluntad de seguir suministrando a Estados Unidos. Además, convierte la evaluación cualitativa de la importancia en una evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad económica del sector manufacturero estadounidense. Aplicando esta metodología para cada elemento se obtiene un valor determinado para cada aspecto evaluado (Potencial de perturbación, exposición comercial, vulnerabilidad económica y riesgo de suministro). Con estos datos, se clasificaron los elementos commodities de la tabla periódica, dando como resultado la siguiente figura:

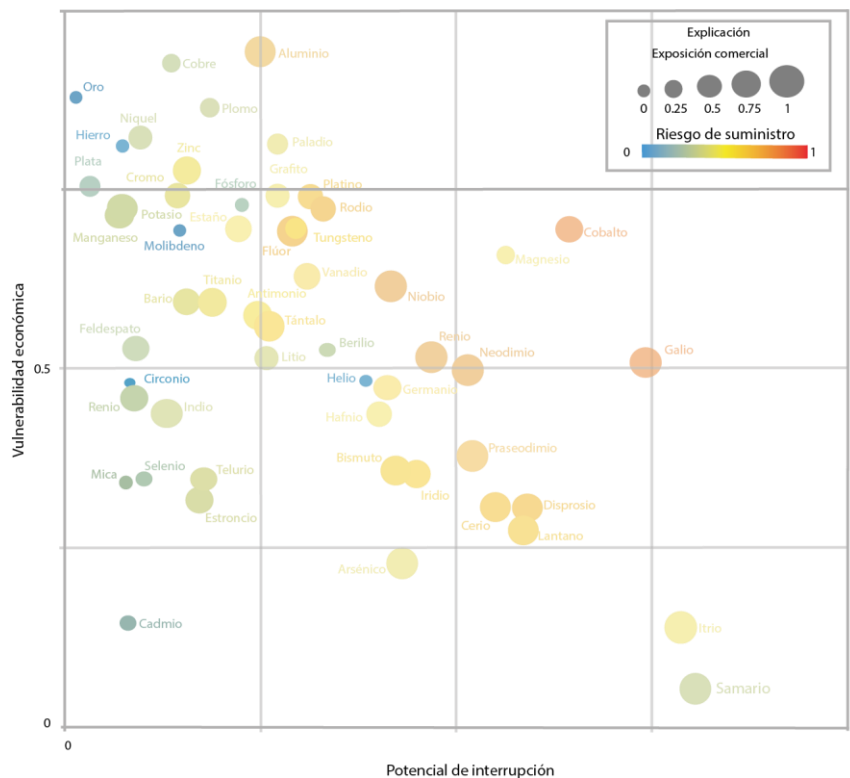


Figura 2-2. Evaluación del riesgo de suministro de materias primas minerales. El gráfico muestra el potencial de perturbación (eje horizontal), la vulnerabilidad económica (eje vertical), la exposición comercial (tamaño de los puntos) y el riesgo global. Modificado de Nassar. 2021

## 2.3.1 Elementos

### 2.3.1.1 Cobalto

El cobalto es un metal de la primera serie de transición, ubicado en el grupo 9 de la Tabla Periódica. Su número atómico es  $Z = 27$ . Su peso atómico es de 58,9332. Su radio metálico es de 1,25 Å y su densidad es 8,90 g/cm<sup>3</sup>; su punto de fusión es de 1495 °C y el de ebullición 3100 °C (Greenwood *et al.*, 1984). Es uno de los tres metales magnéticos existentes en la naturaleza (los otros dos son hierro y níquel) (Baran, 2018). Es por estas características que se calcula que el 42% del cobalto consumido en Estados Unidos se utilizó en superaleaciones, principalmente en motores de turbinas de gas de aviones; el 9% en carburos cementados para aplicaciones de corte y resistencia al desgaste; el 16% en otras aplicaciones metálicas diversas; y el 33% en una variedad de aplicaciones químicas. El valor total estimado del cobalto consumido en 2021 fue de 340 millones de dólares. (Shedd, 2022.)

El mercado mundial del cobalto es relativamente pequeño, pero está ganando importancia estratégica cada día. En 2017, la producción mundial fue de 123.000 toneladas métricas, el 50% de las cuales se destinó a la producción de baterías recargables. El primer productor mundial es la políticamente inestable República Democrática del Congo, con una producción de 64.000 toneladas en 2017 y una cuota de mercado del 52%, mucho más que otros productores, que producen poco más de 5.000 toneladas al año. (Baran, 2018).

El mayor productor privado del mundo es el grupo minero Glencore, que posee dos grandes yacimientos en el Congo y firmó en el 2017 un contrato de cuatro años con la empresa china Contemporary Amperex Technology (CATL), suministrándoles 20.000 toneladas de cobalto para la fabricación de baterías. Hay que añadir que China es el mayor refinador de cobalto del mundo, con 45.000 toneladas en 2016, y que las baterías chinas de CATL se utilizan principalmente en los coches eléctricos que Volkswagen planea producir en los próximos años. (Herrera, 2018)

Se prevé que la producción mundial de minas y refinerías de cobalto aumente hasta alcanzar niveles récord en los próximos años (Figura 2.2-3.) El aumento de la alimentación de materias primas se debió principalmente al incremento de la producción en las operaciones existentes, aunque la nueva producción y el reinicio de las operaciones suspendidas también contribuyeron al suministro. El Congo (Kinshasa) siguió siendo la principal fuente mundial de cobalto extraído, suministrando más del 70% de la producción minera mundial de cobalto. A excepción de la producción de Marruecos y del cobalto extraído artesanalmente en el Congo (Kinshasa), la mayor parte del cobalto se extrae como subproducto del cobre o del níquel. China fue el primer productor mundial de cobalto refinado, la mayor parte del cual se produjo a partir de cobalto parcialmente refinado importado del Congo (Kinshasa). China era el primer consumidor mundial de

cobalto, con más del 80% de su consumo en la industria de las baterías recargables. (Shedd, 2022) (PwC,2022).

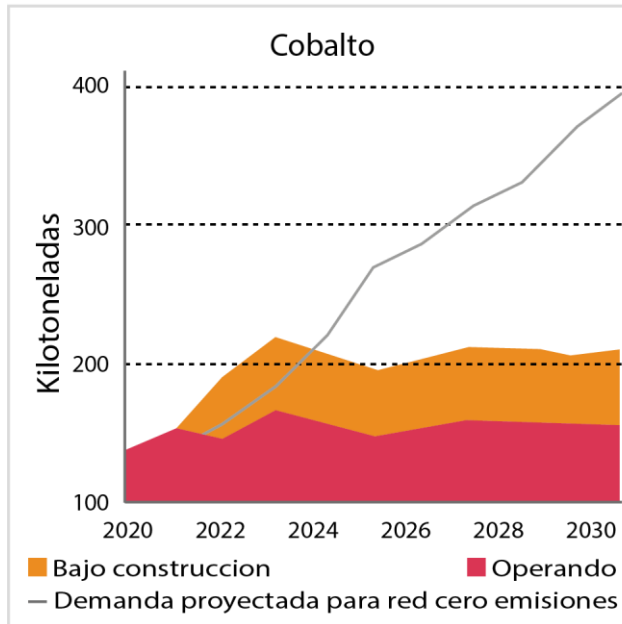


Figura 2-3. Proyecciones de la demanda de cobalto para llegar a la red cero emisiones, en color rojo la producción minera en kilo toneladas de cobalto y en naranja las que están en construcción. Modificado de PwC, 2022.

Tabla N°1. Producción y reserva de cobalto de varios países, a partir de informes del gobierno de Estados Unidos. Extraído y modificado de Shedd, 2022.

Países	Producción minera		Reservas
	2020	2021	
Estados Unidos	600	700	69.000
Australia	5.630	5.600	1.400.000
Canadá	3.690	4.300	220.000
China	2.200	2.200	80.000
Congo (Kinshasa)	98.000	120.000	3.500.000
Cuba	3.800	3.900	500.000
Indonesia	1.100	2.100	600.000
Madagascar	850	2.500	100.000
Marruecos	2.300	2.300	13.000
Nueva Guinea	2.940	3.000	47.000
Pilipinas	4.500	4.500	260.000
Rusia	9.000	7.600	260.000
Otros países	7.640	6.600	610.000
<b>Total mundial</b>	<b>142.000</b>	<b>170.000</b>	<b>7.600.000</b>

El cobalto y minerales de cobalto presentan afinidad por sulfuros de cobre, níquel, arsénico y hierro, minerales que comúnmente forman asociaciones minerales en depósitos hidrotermales. Dada esta afinidad todos los depósitos de hierro pudieran tener potencial por minerales sulfuros /arseniuros de cobalto, en particular aquellos que presentan zonas muy ricas en minerales sulfuros de arsénico. Los principales tipos de depósitos en los cuales se puede evaluar un potencial de cobalto como subproducto son los yacimientos del tipo IOCG, seguidos por los IOA. (Townley. *et al*, 2017)

En la corteza terrestre, el cobalto es el trigésimo elemento en abundancia (0,0029% peso a peso (p/p), y si bien se encuentra profusamente distribuido, es el menos abundante de todos los metales de la primera serie de transición, a excepción del escandio (0,0025% p/p). (Greenwood *et al.*, 1984)

Los recursos terrestres de cobalto identificados en el mundo son de unos 25 millones de toneladas. La gran mayoría de estos recursos se encuentran en yacimientos de cobre estratiformes alojados en sedimentos en el Congo (Kinshasa) y Zambia; en yacimientos lateríticos que contienen níquel en Australia y los países insulares cercanos y Cuba; y en yacimientos magmáticos de sulfuro de níquel y cobre alojados en rocas máficas y ultramáficas en Australia, Canadá, Rusia y Estados Unidos. Se han identificado más de 120 millones de toneladas de recursos de cobalto en nódulos polimetálicos y costras del fondo de los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. (Shedd, 2022).

Según información recolectada por Townley *et al.*, 2017, la explotación de cobalto en Chile comenzó en 1865, inicialmente a partir de yacimientos de vetas y mantos con mineralización de cobre-oro-cobalto en el distrito San Juan, cercano a la ciudad de Huasco, como también de cuerpos de vetas cercanas a la ciudad de Copiapó, ambos en la región de Atacama. La producción de cobalto cesó en 1944 con el cierre de La Cobaltera, distrito de San Juan. La máxima producción fue alcanzada durante la II Guerra Mundial, esto dado su uso en aleaciones de aceros.

La distribución de la mineralización de cobalto conocida y extraída en Chile ocurre dentro de la Franja Ferrífera de Chile, yacimientos hospedados en rocas metamórficas paleozoicas como también en rocas intrusivas, volcánicas y en menor medida sedimentarias de edad Cretácico Inferior, en un ambiente de arco volcánico a lo largo de la Cordillera de la Costa. Estos ocurren en la Franja Ferrífera de Chile, a lo largo de la cordillera de la costa de las regiones de Atacama y Coquimbo, hospedados principalmente en el Sistema de Falla de Atacama. (Townley et al., 2017).

### **2.3.1.1 Manganese**

El manganeso, que es un metal ferroso, insustituible en las economías industriales modernas, y es consumido en grandes cantidades por todas las naciones industrializadas. Es importante por sus propiedades desulfurantes, desoxidantes y de aleación, entre otras. Un suministro abundante y estable de manganeso a largo plazo es fundamental para países industrializados, así como para los países en desarrollo. (Schul, *et al.*, 2017).

La mayor parte del consumo de manganeso estaba relacionado con la producción de acero, ya sea directamente como adición de aleación en el acero o indirectamente a través de la transformación del mineral en ferroaleaciones. El manganeso no tiene sustitutos conocidos en la conversión global del mineral de hierro en acero, por lo que no se puede producir acero sin manganeso. La producción de acero y de hierro fundido constituyen el mayor mercado para el manganeso (históricamente representa entre el 77 y el 90% del consumo de manganeso en Estados Unidos), aunque también se utiliza como aleación con metales no ferrosos, como el aluminio y el cobre. Otras cantidades de mineral se utilizaron para fines no metalúrgicos, como la producción de piensos, colorantes para ladrillos, autos o cosméticos, tratamientos de agua, etc. (Summaries, 2021)

La fabricación de acero representó el 78% del consumo estadounidense; las baterías, otro 7%; y otros usos, incluidos los productos químicos, las aleaciones no ferrosas y la fundición, el 15% restante (Corathers, 2013).

El Departamento de Defensa de EE.UU. considera el manganeso como uno de los productos minerales más importantes para los Estados Unidos, tanto porque es esencial para la industria y no tiene sustitutos, tanto por su potencial y los probables efectos de las interrupciones del suministro (Figura 2.4.A) (National Research Council, 2008).

A escala mundial, las reservas de manganeso son más que suficientes para abastecer de manganeso a las industrias del mundo durante muchas décadas, pero esos materiales están distribuidos geográficamente de forma desigual. Solo unas pocas naciones producen grandes cantidades de manganeso (tres países representaban el 60% de la producción en 2011). Muchas naciones industrializadas, como Estados Unidos, Canadá, Japón y países de Europa, dependen en gran medida de las importaciones para su suministro de manganeso. (Schul, *et al.*, 2017).

El contenido de manganeso de los minerales, concentrados, nódulos y sinterizados más utilizados y comercializados con fines metalúrgicos se sitúa en un rango aproximado del 38 al 55%. Un contenido de manganeso del 48% se considera estándar como base de precios. De 2007 a 2011, la producción mundial de mineral de manganeso alcanzó un promedio de 13,2 millones de toneladas métricas de manganeso contenido, y la producción estuvo encabezada, en orden de porcentaje de la producción mundial, por Sudáfrica, Australia y China (Tabla N° 2; Figura 2.4.). (Cannon et al., 2017) (Corathers, 2013 a; International Manganese Institute, 2012 b).

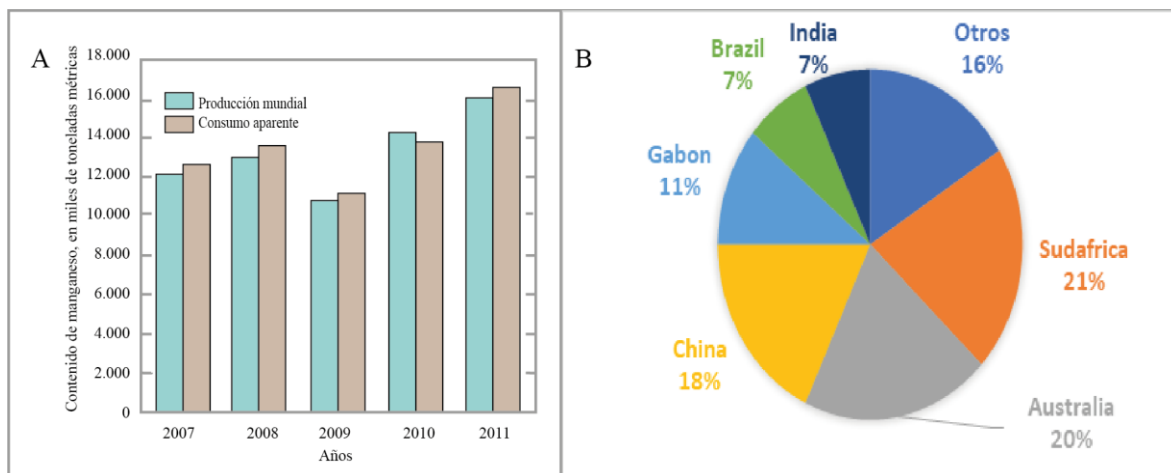


Figura 2-4. Producción de manganeso. A) Gráfico de barras que muestra producción mundial de mineral de manganeso de 2007 a 2011 en comparación con el consumo aparente mundial según el instituto internacional de manganeso. B) Gráfico de torta que muestra la distribución de la producción de mineral de manganeso. Modificado de Cannon *et al.*, 2017

Tabla N° 2. Estimación de las reservas mundiales de mineral de manganeso en 2012, en miles de toneladas métricas de manganeso contenido. Realizada con datos de Corathers, 2013.

País	Reserva
Estados Unidos	No posee
Australia	97.000
Brasil	110.00
China	44.000
Gabón	27.000
India	49.000
Kazajistán	5.000
México	5.000
Sudáfrica	150.000
Ucrania	140.000
Otros países	Mínimo.

Geoquímicamente hablando el manganeso es el duodécimo elemento más abundante en la corteza terrestre y, por tanto, se considera un metal relativamente abundante. La media de las rocas de la corteza terrestre contiene aproximadamente un 0,1% de manganeso, pero la concentración varía según el tipo de roca. Las rocas máficas (basalto), suelen contener un 0,16% de manganeso, mientras que las rocas graníticas contienen un 0,06%. Las menas de

manganeso contienen un mínimo del 15% de manganeso, pero la mayoría de las menas tienen un grado considerablemente más alto, hasta un 50% de manganeso. Por lo tanto, la formación de mineral de manganeso requiere un sistema geoquímico que concentre el manganeso en al menos 150 veces su abundancia media en la corteza terrestre y hasta 500 veces para los minerales de mayor grado. Se requiere un conjunto adicional de condiciones especializadas para producir un fuerte enriquecimiento de manganeso sin concentrar el hierro, con el que el manganeso comparte muchas similitudes químicas y suele estar correlacionado en su composición. Los minerales de manganeso tienen una relación manganeso-hierro mucho mayor que las rocas típicas de la corteza terrestre. Prácticamente todos los minerales de manganeso se han formado como resultado del transporte de manganeso en soluciones acuosas, al menos en distancias cortas, y de la precipitación de minerales de manganeso a partir de esas soluciones en concentraciones y volúmenes suficientemente altos como para formar yacimientos mineros. Comprender los factores que controlan la solubilidad del manganeso en el agua y el comportamiento del agua con manganeso a escalas que van desde los metros hasta la de las cuencas oceánicas es la clave para entender la metalogénesis del manganeso. (Cannon *et al.*, 2017)

La gran mayoría de los minerales de manganeso se han formado en las condiciones ambientales de la superficie de la Tierra, tanto subaéreas como submarinas, y la discusión que sigue se concentra en el comportamiento geoquímico del manganeso en estos entornos. Muchos depósitos de manganeso son el resultado directo de la deposición de capas de sedimentos ricos en manganeso en el lecho marino, tanto en los océanos actuales como en los del pasado geológico. Además, el enriquecimiento secundario de las rocas sedimentarias marinas ricas en manganeso por la posterior meteorización continental (minerales supergénicos) ha producido muchos depósitos de mineral de manganeso de alta ley. En ambos casos, el transporte a gran escala del manganeso disuelto en el agua de mar y la deposición de este son componentes cruciales de la metalogénesis del manganeso. Las fuentes más importantes de

manganeso disuelto en el agua de mar son (a) el manganeso disuelto en los ríos que entran en los océanos, (b) el manganeso liberado de los sedimentos marinos por la alteración post-deposicional, y (c) el manganeso de las fuentes hidrotermales de aguas profundas. (Cannon *et al.*, 2017.)

A pesar de la complejidad de los minerales de manganeso y de su presencia variable en los yacimientos individuales, algunas generalizaciones permiten caracterizar muchos aspectos de la mineralogía de la mena. Los minerales de manganeso más comunes en los yacimientos son los óxidos de manganeso, seguidos de los carbonatos de manganeso. Los carbonatos de manganeso, sin embargo, son los minerales más voluminosos cuando se consideran todas las rocas enriquecidas en manganeso -muchas de las cuales están por debajo de la ley del mineral-. Entre los óxidos, la pirolusita (un óxido de manganeso simple) y el criptomelano (un óxido con potasio) son los más registrados, aunque no necesariamente los más voluminosos. Los minerales carbonatados son la rodocrosita (un carbonato de manganeso) y la kutnahorita (un carbonato de calcio y manganeso). La rodocrosita es, con mucho, el carbonato de manganeso más reconocido, pero la kutnahorita es abundante en los vastos minerales de manganeso del Kalahari, en Sudáfrica. Además, el hidróxido de manganeso manganita es un mineral muy extendido, al igual que el mineral de silicato de manganeso braunita. (Dorr *et al.*, 1973; Maynard, 2003).

A lo largo de los años, se han propuesto muchas clasificaciones de los yacimientos de manganeso, normalmente basadas en detalles de mineralogía, tipo de rocas asociadas y forma geométrica de los yacimientos. Cannon *et al.*, 2017, clasifican los depósitos (Figura 2.2-5) en, (a) depósitos terrestres que consisten principalmente en antiguos sedimentos marinos y zonas de enriquecimiento secundario desarrolladas dentro de ellos que pueden subdividirse en función del entorno geológico en el que se formaron y de los procesos responsables de las concentraciones de manganeso, y (b) depósitos de fondos marinos modernos, que se encuentran ampliamente en los fondos

oceánicos modernos. Excluye varios tipos de depósitos, como los volcanogénicos, los cársticos y los de vetas hidrotermales, que están muy extendidos, pero son generalmente pequeños. Aunque pueden ser importantes a nivel local.

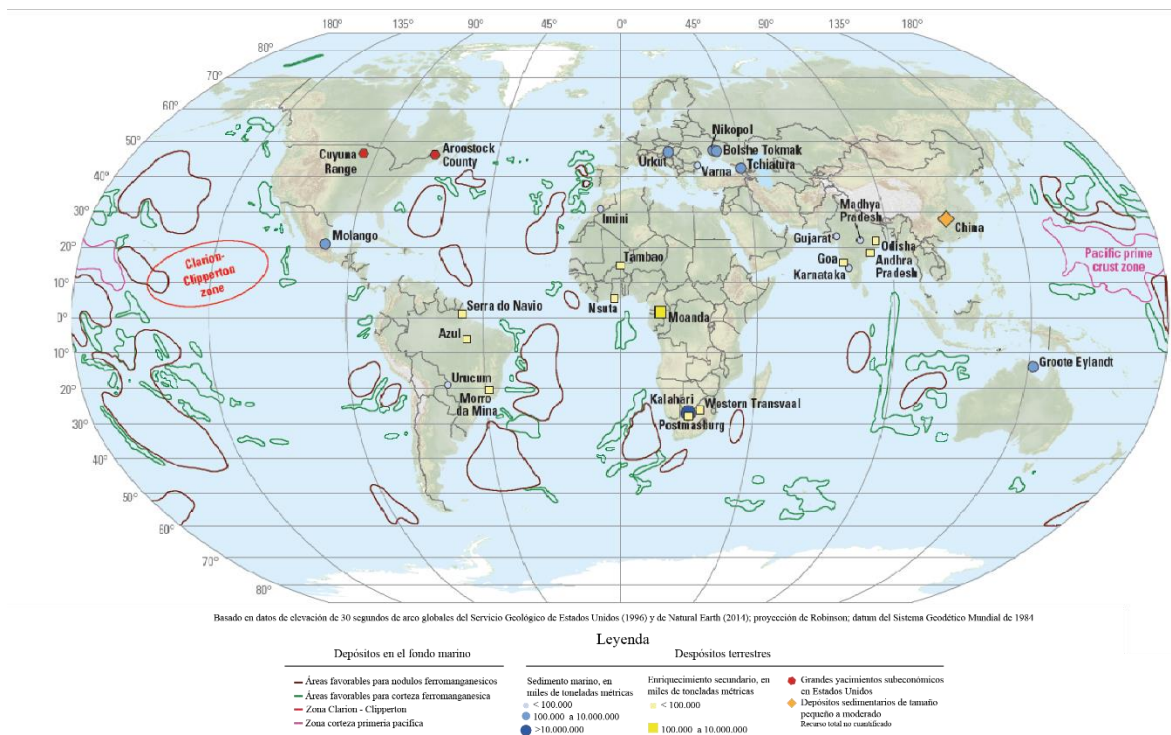


Figura 2-6. Mapa mundial de manganeso. Muestra la ubicación, el tamaño relativo y el tipo de los principales depósitos terrestres de manganeso, así como los depósitos subeconómicos en los Estados Unidos. Los depósitos en China se han agrupado. Las áreas con mayor potencial para la minería de nódulos y costras de ferromanganeso en el fondo marino se muestran mediante contornos de colores. Los datos del fondo marino son de Hein y otros (2013). Modificado de Cannon *et al.*, 2017.

Según Tonwley *et al.*, 2018, yacimientos de manganeso fueron explotados desde principios del siglo XX hasta el 2009, y se ubican históricamente en las regiones de Atacama y Coquimbo, donde destacan distritos como Corral Quemado, Lambert, El Romeral, Fragua, entre otros., todos pertenecientes a la región de Coquimbo en el caso de la región de Atacama solo hay yacimientos menores. La producción local se mantuvo por parte de la empresa Manganesos de Atacama S.A. hasta el 2009, donde era usado para aleaciones de acero.

Los yacimientos de mayor relevancia económica corresponden a depósitos mantiformes de origen sedimentario - volcánico, con ocurrencia también de cuerpos vetiformes de tipo epitermal. Estratigráficamente estos depósitos ocurren hospedados en dos unidades litológicas principales, denominadas Formación Arqueros y Formación Quebrada Marquesa en la Región de Coquimbo, y en las unidades litológicas equivalentes en la Región de Atacama. En una perspectiva de ambientes geológicos de formación este tipo de yacimiento se asocia con unidades de roca sedimentarias – volcánicas propias de cuencas de ante, intra y tras arco, estos mejor desarrollados en Chile durante el Jurásico Superior y Cretácico Inferior en el norte y sur del país. Dado que el mineral de manganeso nunca ha sido de gran relevancia económica en Chile y que por otra parte las necesidades de producción interna y de exportación se satisfacían con los distritos conocidos en la región de Coquimbo y en menor medida Atacama, las exploraciones por este recurso han sido escasas. No obstante, existe potencial, dado la amplia ocurrencia de los ambientes geológicos adecuados a la formación y génesis de estos yacimientos. (Townley. *et al.*, 2017).

### **2.3.1.2 Vanadio**

El vanadio (V) es un metal estratégico y el 22º elemento más abundante en la corteza terrestre con una concentración de 120 ppm (Haynes *et al.*, 2014), se utiliza principalmente en la producción de aleaciones metálicas, como el acero de alta resistencia y las aleaciones para la industria aeroespacial, además usos secundarios como catalizadores para la industria química y en cerámicas, vidrios y pigmentos. En su estado nativo, el vanadio es un metal de transición duro, gris plateado, dúctil y maleable. (Karen *et al.*, 2017)

La necesidad emergente de almacenamiento de electricidad a gran escala hace que las baterías de flujo redox de vanadio (VRB) sean un importante uso futuro del vanadio. Debido a su capacidad de almacenamiento a gran escala, el desarrollo de las VRB podría impulsar el aumento del uso de la energía eólica, solar y otras fuentes de energía renovables e intermitentes. Las baterías de litio-

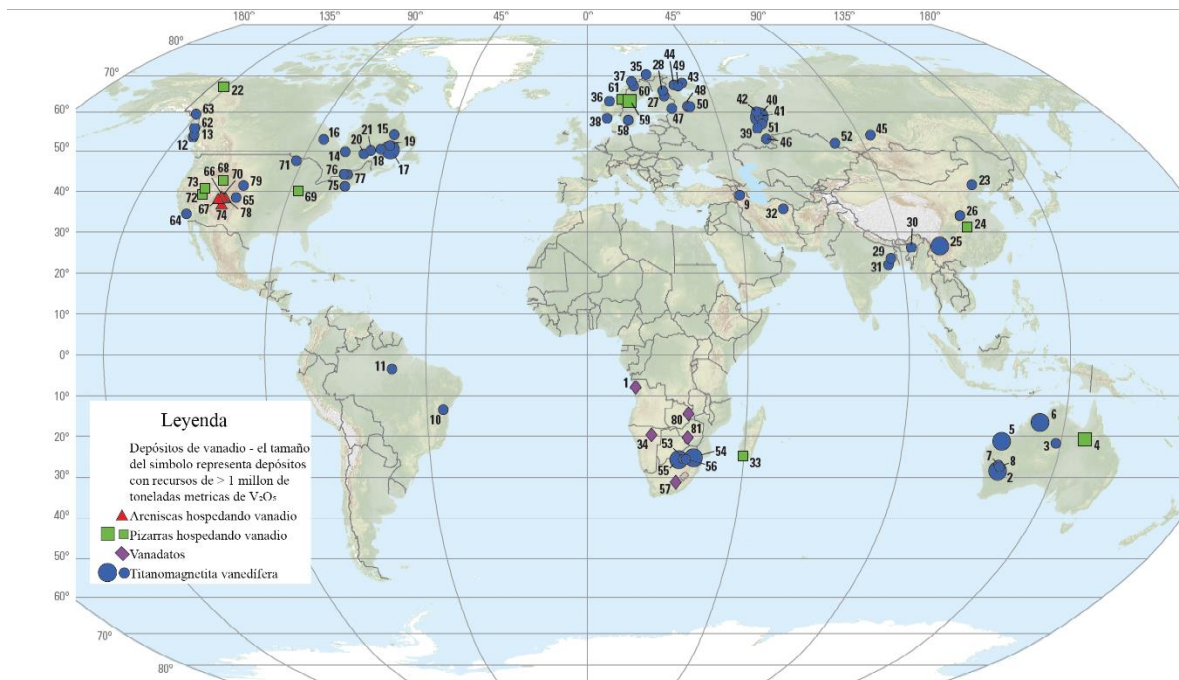
vanadio-fosfato producen altos voltajes y una elevada relación energía-peso, lo que las hace ideales para su uso en coches eléctricos. (Perles, 2013).

Los recursos mundiales de vanadio superan los 63 millones de toneladas (Tabla N°3). Dado que el vanadio suele recuperarse como subproducto o coproducto, los recursos mundiales demostrados del elemento no son totalmente indicativos de los suministros disponibles. (Polyak, 2022)

Tabla N°3. Producción y reservas mineras mundiales extraído de Polyak, D. E. (2022)

País	Producción minera		Reservas (Ton. métricas)
	2020	2021	
Estados Unidos	17	-	45
Australia	-	-	6.000
Brasil	6.620	6.700	120
China	70.000	73.000	9.500
Rusia	19.500	19.000	5.000
Sudáfrica	8.580	9.100	3500
Total Mundial	105.000	110.000	24.000

El vanadio está presente en concentraciones económicas en cuatro tipos de yacimientos minerales, y como componente menor en varios otros tipos, tales como depósitos magmáticos hidrotermales y combustibles fósiles (Figura 2.6). los que serán descritos a continuación.



Basado en datos de elevación 30 segundo de arco globales del Servicio Geológico de Estados Unidos (1996) y de Natural Earth (2014); proyección de Robinson; datum del Sistema Geodético Mundial de 1984

Figura 2-7. Mapa mundial de vanadio. Muestra la ubicación de los principales depósitos de vanadio del mundo, por tipo de depósito, Modificado de Karen et al., 2017.

Los yacimientos de titanio magnetita vanadífera (VTM) consisten en acumulaciones magmáticas de magnetita e ilmenita, definidas arbitrariamente por tener grados de más del 1% de rutilo aproximadamente (Fischer, 1975). La mayoría de los depósitos VTM expuestos tienen una edad Arcaica o Proterozoica, habiéndose formado en entornos tectónicos continentales intraplaca; unos pocos depósitos (por ejemplo, la región de Panzihua en la provincia de Sichuan, China) son más jóvenes (Karen *et al.*, 2017). La mayoría de los depósitos están asociados al magmatismo de las grandes provincias ígneas (LIP); algunos complejos intrusivos estratificados están vinculados a plumas del manto y a huellas de puntos calientes (Hatton, 1995; Ernst *et al.*, 2005).

Depósitos de uranio alojados en arenisca en todos los continentes, y se sabe que muchos de ellos están enriquecidos en vanadio (SSV) (Dahlkamp, 2010). Los yacimientos de SSV se encuentran en lentes de arenisca fluvial de la Formación Chinle (Triásico Superior) y en las Formaciones Morrison (Jurásico Tardío), en los Estados Unidos. Los depósitos de vanadio más importantes desde el punto

de vista económico se encuentran en el Miembro Salt Wash, que es la unidad basal de la Formación Morrison (Northrop *et al.*, 1990; McLemore y Chenoweth, 1997; Shawe, 2011). El Miembro Salt Wash tiene entre 30 y 150 m de espesor y contiene arenisca fluvial lateralmente continua y lodolita intercalada. Este miembro fue depositado por un sistema aluvial que se agranda de oeste a este (Shawe, 2011).

Depósitos de vanadio alojados en pizarra, son esquistos negros metalíferos ricos en vanadio aparecen principalmente en sucesiones marinas de finales del Proterozoico y del Fanerozoico. El término pizarra se utiliza aquí en sentido amplio para incluir una serie de rocas carbonosas que incluyen margas y fangolitas. Estas rocas sedimentarias de grano fino se depositaron en mares epiroides (interiores) y en márgenes continentales. Suelen contener altas concentraciones de materia orgánica (más del 5%) y azufre reducido (más del 1%; principalmente en forma de pirita), así como un conjunto de metales, como cobre, molibdeno, níquel, PGE, plata, uranio, vanadio y zinc (Desborough *et al.*, 1979; Coveney y Martin, 1983; Coveney *et al.*, 1992; Hatch y Leventhal, 1992; Piper, 1999). Las concentraciones superan regularmente el 0,18% de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y pueden llegar al 1,7%. Los esquistos negros vanadíferos se encuentran comúnmente con los depósitos de fosforita y los esquistos bituminosos marinos (Karen *et al.*, 2017)

Depósitos de vanadatos, los vanadatos de plomo, zinc y cobre (vanadinita y minerales de la serie descloizita-mottramita) se forman en las zonas oxidadas de los yacimientos de metales básicos, especialmente en zonas de clima árido y oxidación profunda (Fischer, 1975). Son acumulaciones secundarias que se forman durante procesos supergénicos. Los vanadatos como suministro de vanadio cesaron esencialmente en 1978, cuando se cerró la última mina de vanadio en producción en Berg Aukas (Otavi Mountainland) en Namibia. (Karen *et al.*, 2017).

Recursos magmático-hidrotermales de vanadio, a algunos depósitos magmático-hidrotermales de niobio-titanio contienen elevadas concentraciones de vanadio, otros tipos de yacimientos contienen concentraciones de vanadio dignas de mención, pero todos ellos son actualmente poco rentables y es poco probable que se consideren recursos de vanadio en el futuro. Por ejemplo, las muestras de concentrados de minerales pesados de minerales de hierro (depósitos de apatita-magnetita tipo Kiruna) en Suecia y Chile han reportado de altas concentraciones (1.000 a 2.000 ppm) de vanadio (Nyström y Henríquez, 1994) y los minerales de óxido de hierro separados (magnetita y hematita) de tales depósitos contienen hasta un 0,479% en peso de vanadio (Dupuis y Beaudoin, 2011). Las concentraciones de vanadio de unas pocas décimas de porcentaje también son comunes en los minerales portadores de titanio, como el rutilo y la brookita en algunos depósitos epitermales de oro-plata y pórfidos de cobre (Fischer, 1973).

Biggs (1976) nombró Chile como el primer país en ser productor de vanadio en 1973, con una cantidad de 1060 toneladas métricas, Henríquez (1978) estudió la posibilidad de que el vanadio sea un subproducto de la minería del hierro lo que generaría un horizonte prometedor a la minería de hierro en Chile, este mismo año Dobbs estudió la distribución de vanadio y titanio dentro del cuerpo principal del distrito El Romeral, determinando que el vanadio se aloja, a altas temperaturas, en la estructura de la magnetita a diferencia del titanio que se encuentra mayoritariamente en el esfero y de manera secundaria en magnetitas. Además, Henríquez (1981), reconoció la presencia de vanadio no solo en El Romeral sino también en el Laco. Finalmente, Elgueta (1991) le dio una interpretación geológica al vanadio del distrito El Romeral, concluyendo que las leyes de vanadio no superan el 1% e identificando que el vanadio está ligado a al hierro en su estructura molecular, aunque estadísticamente la distribución del % de vanadio es independiente de los % de hierro y fosforo, además los cuerpos de magnetitas vanadifera se ubican en texturas brechosas y diseminadas (leyes medias y bajas), siendo cuerpos elongados según un eje NS

### 2.3.1.3 Hafnio

El hafnio (Hf) es un metal que se utiliza en las industrias química y de reactores nucleares aplicándose cuando se requiere resistencia a la corrosión, estabilidad estructural a altas temperaturas y propiedades específicas de aleación y (o) características específicas de absorción de neutrones. El principal mineral de este elemento es el circón ( $ZrSiO_4$ ), que suele tener una proporción de circonio y hafnio (Zr:Hf) de 50:1. La baddeleyita ( $ZrO_2$ ) es un mineral menos común pero comercialmente importante que contiene tanto circonio como hafnio, pero en una proporción de aproximadamente 73:1. El circón y la baddeleyita se forman principalmente como minerales accesorios en las rocas ígneas y suelen estar presentes en abundancias relativamente bajas. También se encuentran de forma natural en una gran variedad de tipos de rocas y entornos geológicos. Los principales yacimientos del mundo son las arenas de minerales pesados producidas por la meteorización y erosión de rocas preexistentes y la concentración de circón en sistemas sedimentarios, especialmente en entornos costeros. (Jones *et al.*, 2017)

Los metales de circonio y hafnio se producen mediante el proceso Kroll, que implica la reducción del oxiclورو de circonio por el metal de magnesio en una atmósfera inerte. El metal resultante contiene una mezcla de circonio y hasta un 2% de hafnio y se utiliza para aplicaciones no nucleares en entornos corrosivos y en aleaciones especiales. Para las aplicaciones de grado nuclear, los metales deben separarse debido a sus diferentes características de absorción de neutrones. El hafnio tiene una sección transversal de absorción de neutrones térmicos relativamente alta, por lo que se utiliza en las barras de control nuclear, también se utiliza en cerámicas de alta temperatura, superaleaciones a base de níquel y boquillas para el corte de metales por arco de plasma.

El Hafnio ocupa un lugar relativamente bajo en la lista de riesgos del Servicio Geológico Británico, debido a que sus fuentes de importación (2017-20): fueron: Sudáfrica, 54%; Senegal, 25%; Australia, 19%; Rusia, 2%; y otros, <1%.

Circonio en bruto, incluido el polvo: China, 89%; Alemania, 8%; y otros, 3%.  
 Circonio, forjado: Francia, 64%; Alemania, 18%; Bélgica, 5%; y otros, 13%.  
 Hafnio, en bruto: Alemania, 42%; Francia, 29%; China, 24%; Reino Unido, 2%;  
 y otros, 3%. lo que posiblemente refleja la estabilidad política y (o) económica  
 de los países que son fuentes importantes de este producto mineral y el hecho de  
 que la producción procede de varias zonas del mundo (Servicio Geológico  
 Británico, 2012). (Gambogi, 2022) (Figura 2.7.)

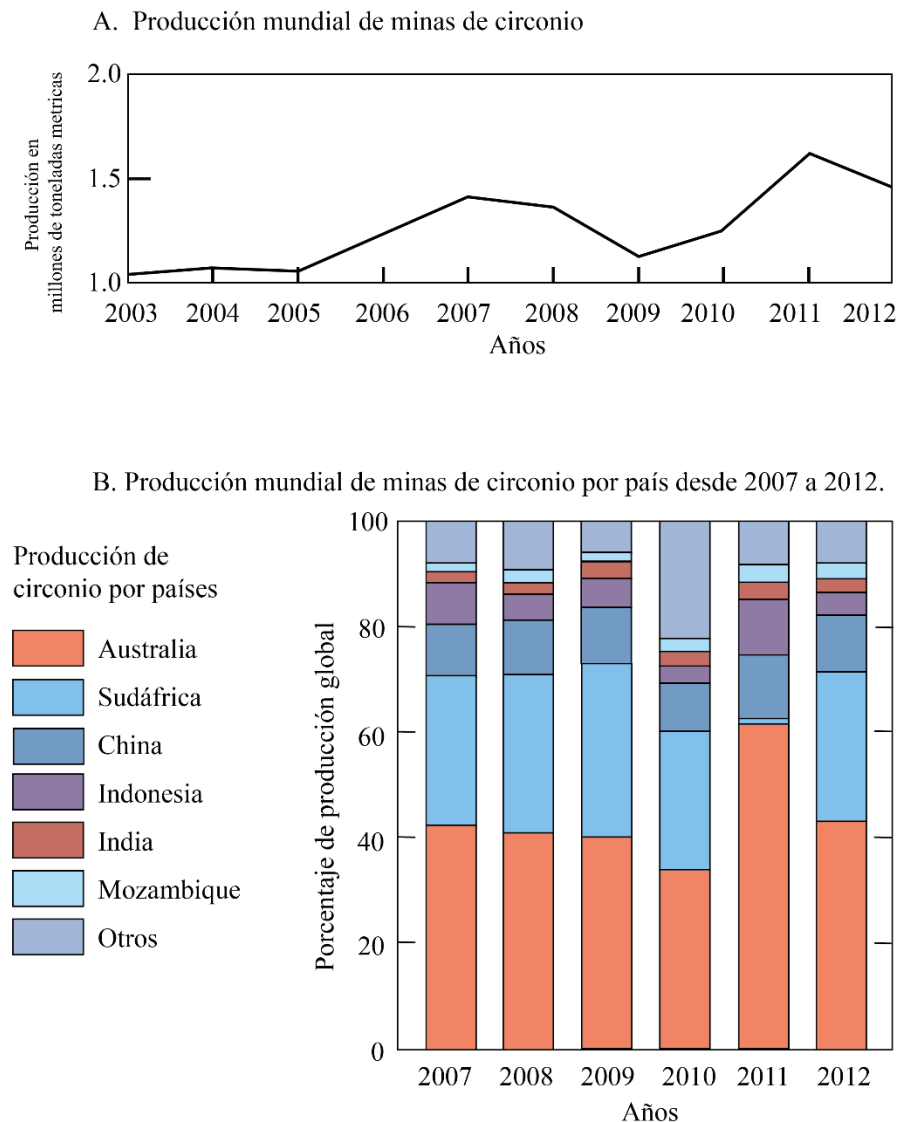


Figura 2-8. Gráficos que muestran la producción mundial de circonio. A, Producción mundial de minas de circonio de 2003 a 2012. Los datos proceden de Gambogi (2010), U.S. Geological Survey (2010 -13) y Bedinger (2014). B, Producción mundial de minas de circonio, por país, de 2007 a 2012. Los datos proceden de U.S. Geological Survey (2010 -13) y Bedinger (2014).

El hafnio es un elemento litófilo refractario que tienen carga, radios iónicos y potenciales iónicos casi idénticos con el circonio. Se clasifican como elementos incompatibles porque tienen propiedades físicas y cristalográficas que los excluyen de las redes cristalinas de la mayoría de los minerales que forman las rocas. En particular, los cationes de circonio y hafnio tienen cargas relativamente altas ( $Zr^{4+}$  y  $Hf^{4+}$ ) y radios iónicos pequeños. Por esto, ellos y otros elementos similares, como el niobio, el torio y el uranio, desarrollan intensos campos electrostáticos y no sustituyen a los elementos principales en los minerales ordinarios. Si no que, estos elementos, conocidos como elementos de alta intensidad de campo (HFSE), se concentran en minerales accesorios menos comunes. El circonio y el hafnio están enriquecidos en la corteza terrestre en relación con el manto y tienen una abundancia media estimada en la corteza de 100 partes por millón (ppm) y 3 ppm, respectivamente. Ambos elementos se concentran en la corteza superior en relación con la corteza inferior en un factor de aproximadamente 1,5 (Taylor y McLennan, 1995).

Los recursos mundiales de hafnio están asociados a los de circonio y baddeleyita. Y poseen 2 depósitos característicos (Figura 2.8.), (a) Depósitos ígneos primarios, los mayores depósitos primarios de circonio y hafnio del mundo están asociados a rocas ígneas alcalinas (Kogarko, 1990). Estas rocas también albergan gran parte del niobio, el tantalio y los elementos de tierras raras (REEs) de la Tierra (Kogarko, 1990; Chakhmouradian y Wall, 2012), y tienen una fuerte asociación con depósitos económicos de apatita (Kogarko, 1987; Singer, 1992). Sin embargo, desde el punto de vista volumétrico, las rocas alcalinas representan menos del 1% de todas las rocas ígneas, y las intrusiones individuales suelen tener una extensión espacial y un volumen limitados. Además, la concentración de circonio y hafnio en estos sistemas ígneos enriquecidos sigue siendo relativamente baja. Por lo tanto, sólo unos pocos depósitos ígneos primarios de minerales portadores de circonio y hafnio son económicos para su explotación en la actualidad. (Jones *et al.*, 2017), (b) Depósitos secundarios-placeres costeros y paleoplaceres, en los sedimentos depositados a lo largo de las costas, el

enriquecimiento en minerales pesados tiene lugar principalmente en la costa y en la parte superior del entorno de la superficie de la costa, donde los sedimentos son reelaborados repetidamente por el viento, las olas y las corrientes inducidas por las olas. Los sistemas de placeres costeros y paleoplaceres, o placeres de playa, se forman a lo largo de las costas dominadas por las olas, donde el retrabajo es más intenso. Suministran toda la producción primaria mundial actual de circonio y constituyen el tipo de depósito más importante para el circonio y el hafnio (Garnett y Bassett, 2005). Definido rigurosamente, un depósito aluvial costero es una concentración de minerales pesados dentro de sedimentos depositados en una serie de entornos sedimentarios costeros que suelen estar dominados por procesos eólicos, de olas y de mareas (Hamilton, 1995), (c) depósitos de arenas bituminosas, donde el hafnio se extrae como subproducto. (Jones *et al.*, 2017)

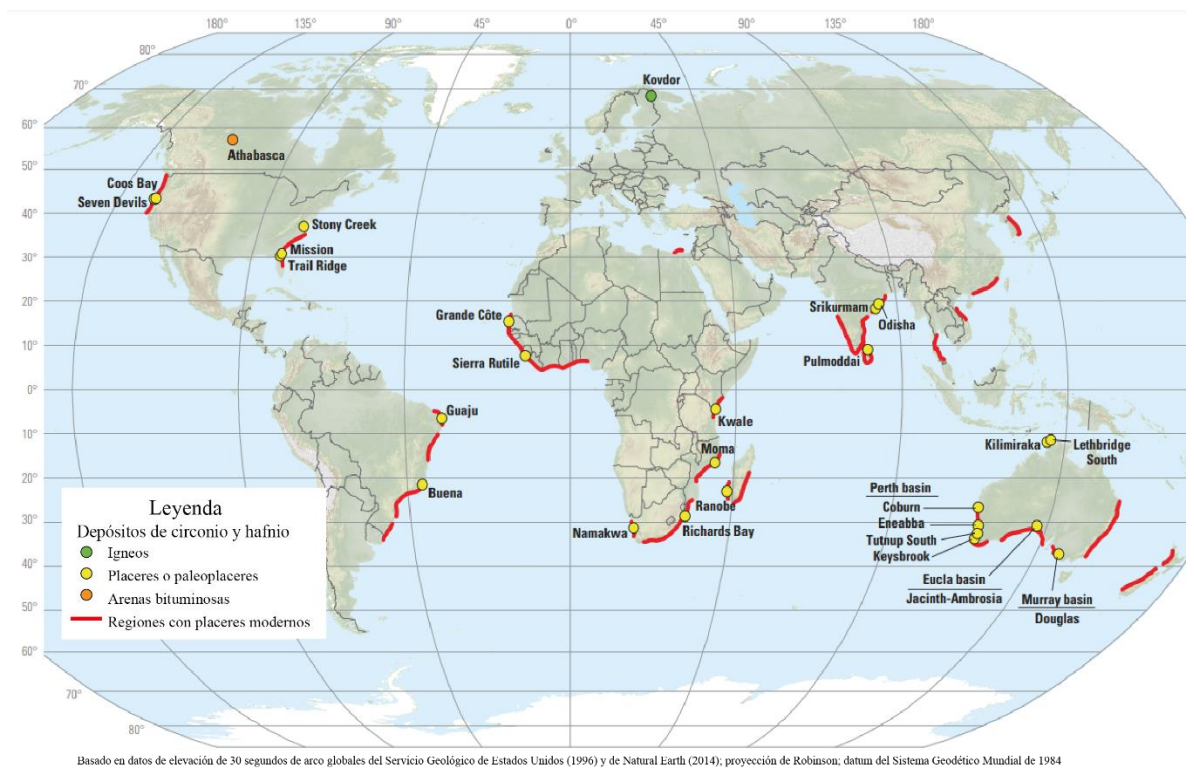


Figura 2-9. Mapa mundial que muestra la ubicación de depósitos de circonio, hafnio y regiones con sistemas de placeres costeros modernos. Modificado de Jones *et al.*, 2017

### 2.3.1.4 Tierras Raras

Hasta hace poco, los elementos de tierras raras (ETR o REE) eran conocidos por un número relativamente reducido de personas, como químicos, algunos geólogos e ingenieros especializados en materiales y tecnología. En el siglo XXI, los ETR han adquirido una considerable visibilidad a través de los medios de comunicación y de la cobertura de Internet debido a el reconocimiento de las propiedades críticas y especializadas que los ETR aportan a los componentes de nuestra tecnología moderna, combinado con el casi monopolio de la producción y el suministro de los ETR en manos de un país (China), y la gran dependencia del mundo de este suministro controlado de China (Long, 2011; Tse, 2011; Hatch, 2012).

Desde finales de la década de 1990, China ha proporcionado más del 90% del suministro mundial de los REEs, en promedio (Figura 2.9.) (Long *et al.*, 2010; Tse, 2011; Hatch, 2012). Los aspectos políticos y económicos que rodean el suministro mundial de REEs a principios del siglo XXI han dado a estos metales más visibilidad y una mayor apreciación de su importancia estratégica que nunca antes. Como consecuencia, las actividades de exploración para descubrir yacimientos económicos de ETR y los esfuerzos para ponerlos en producción aumentaron drásticamente. (Van Gosen *et al.*, 2017)

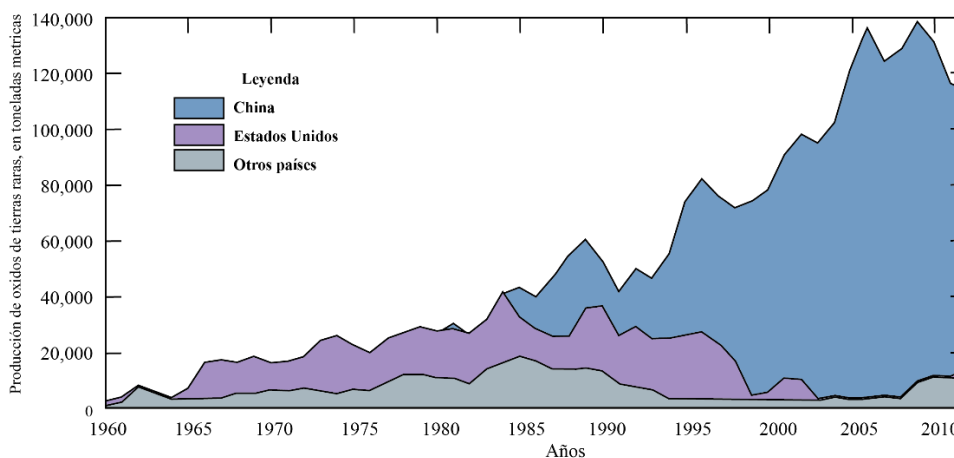


Figura 2-10. Gráfico que muestra la producción minera mundial de óxidos de tierras raras, por país y año, de 1960 a 2012. Las capas del gráfico están colocadas una sobre otra, formando un total acumulado. Los datos proceden de la Oficina de Minas de Estados Unidos (1961-96) y del Servicio Geológico de Estados Unidos (1997-2016). Modificado de Van Gosen *et al.* (2017)

En los últimos años, grupos de expertos convocados por institutos de investigación y agencias gubernamentales destacaron determinados REEs como materias primas fundamentales para las tecnologías en evolución, como las aplicaciones de energía limpia, la electrónica y los componentes militares de alta tecnología. destacado en el factor de "criticidad" de las materias primas, es decir, una gran importancia para las tecnologías y las economías, combinada con un alto riesgo de interrupción del suministro. Entre los informes recientes de los paneles y organismos encargados de evaluar la criticidad de los REEs y otras materias primas se encuentran los del Consejo Nacional de Investigación (2008), el Departamento de Energía de Estados Unidos (2010, 2011), la Comisión Europea (2014), el Panel de Asuntos Públicos de la Sociedad Americana de Física (APS) y la Sociedad de Investigación de Materiales (MRS) (2011), y el Instituto Resnick (2011) (Van Gosen *et al.*, 2017).

Los REE comprenden 15 elementos (Tabla N°4) cuyo número atómico oscila entre 57 (lantano) y 71 (lutecio) en la tabla periódica de los elementos. Se les conoce comúnmente como los "lantánidos". El itrio (número atómico 39) se considera comúnmente como un REE porque comparte similitudes químicas y físicas y tiene afinidades con los lantánidos y porque suele aparecer en los mismos depósitos que otros REE. Tradicionalmente, los REE se dividen en los siguientes dos grupos en función del peso atómico: (a) los REE ligeros (LREE), que incluyen del lantano al gadolinio (números atómicos 57 a 64), y (b) los REE pesados (HREE), que incluyen del terbio al lutecio (números atómicos 65 a 71) (Tabla N°4). El itrio, aunque es ligero (número atómico 39), se incluye en el grupo HREE debido a sus afiliaciones químicas y físicas comunes con los demás HREE (Van Gosen *et al.*, 2017).

TablaN°4. Los valores de abundancia media de la corteza terrestre proceden de Haynes *et al.*, 2014.

Elemento	Símbolo	Numero Atómico	Peso Atómico	Abundancia en la corteza (Ppm)
Tierras Raras Livianas (REEs)				
Lantano	La	57	138.91	39
Cerio	Ce	58	140.12	66.5
Praseodimio	Pr	59	140.91	9.2
Neodimio	Nd	60	144.24	41.5
Samario	Sm	62	150.36	7.05
Europio	Eu	63	151.96	2.0
Gadolinio	Gd	64	157.25	6.2
Tierras Raras Pesadas				
Itrio	Y	39	88.91	33
Terbio	Tb	65	158.92	1.2
Disprosio	Dy	66	162.50	5.2
Holmio	Ho	67	164.93	1.3
Erbio	Er	68	167.26	3.5
Tulio	Tm	69	168.93	0.52
Yterbio	Yb	70	173.04	3.2
Lutecio	Lu	71	174.97	0.8

Los REEs no son raros en términos de abundancia media en la corteza, pero los depósitos concentrados y económicos de REEs son inusuales (Adams y Staats, 1973). Los depósitos de minerales de REEs se encuentran en tipos de rocas inusuales y en minerales poco comunes. (Van Gosen *et al.*, 2017).

Para aprovechar sus inusuales propiedades físicas y químicas, los REEs se utilizan en una variedad de aplicaciones industriales y tecnológicas (Goonan, 2011; Long, 2011). Dada su naturaleza química similar, muchos REEs diferentes

tienen usos relacionados o complementarios; por lo tanto, es más conveniente describir sus usos por aplicación en lugar de por elemento individual. En general, los ETR más ligeros y el itrio son más baratos, se producen en mayores cantidades y se utilizan más ampliamente que los ETR más pesados. Los ETR menos comunes y más caros, desde el holmio hasta el lutecio, se limitan a unas pocas aplicaciones altamente especializadas de alta tecnología. (Van Gosen *et al.*, 2017).

La industria del vidrio es la principal consumidora de materias primas de REE, principalmente para fines de pulido del vidrio y como aditivos para proporcionar color y propiedades ópticas especiales al vidrio. El óxido de cerio se utiliza ampliamente en la producción de tipos de vidrio que requieren un pulido de precisión, como las pantallas planas. El cerio también se utiliza para decolorar el vidrio. El lantano y el lutecio aumentan en gran medida el índice de refracción del vidrio óptico. El lantano se utiliza mucho en las lentes de las cámaras y el itrio se utiliza como colorante especial y para proporcionar cualidades de filtrado y de reducción del deslumbramiento al vidrio (Goonan, 2011).

Para sintetizar de mejor manera los usos y aplicaciones nos enfocaremos en 3 elementos los cuales son itrio, lantano y cerio.

Los usos del itrio son en catalizadores, la cerámica, la electrónica, el láser, la metalurgia y los fósforos. En las aplicaciones cerámicas, se utiliza en refractarios de alta temperatura para toberas de colada continua, revestimientos de motores a reacción, sensores de oxígeno en motores de automóviles y herramientas de corte resistentes al desgaste y a la corrosión. En electrónica, los granates de itrio-hierro son componentes de los radares de microondas para controlar las señales de alta frecuencia. El itrio es un componente importante de los cristales láser de itrio-aluminio-granate utilizados en procedimientos quirúrgicos dentales y médicos, comunicaciones digitales, detección de distancia entre otros. En las aplicaciones metalúrgicas, el itrio se utilizaba como aditivo refinador de grano y como

desoxidante. Se utilizó en aleaciones de elementos calefactores, superconductores de alta temperatura y superaleaciones, en compuestos de fósforo para pantallas planas y diversas aplicaciones de iluminación. (Cordier, 2022)

El cerio se utiliza en la fabricación de vidrio, tanto como componente como decolorante. El óxido se utiliza cada vez más como agente de pulido del vidrio en lugar del colorete, ya que es mucho más rápido que éste en el pulido de las superficies de vidrio. El cerio se utiliza en los catalizadores de los tubos de escape de los automóviles, también se utiliza en la fabricación de imanes permanentes. Y junto con otras tierras raras, se utiliza en la iluminación por arco de carbono, especialmente en la industria cinematográfica. También se utiliza como un importante catalizador en el refinado del petróleo y en aplicaciones metalúrgicas y nucleares. (Haynes *et al.*, 2014)

Los compuestos de tierras raras que contienen lantano se utilizan ampliamente en aplicaciones de iluminación con carbón, especialmente en la industria cinematográfica para la iluminación y proyección en estudios. Esta aplicación consume aproximadamente el 25% de los compuestos de tierras raras producidos. El óxido de lantano mejora la resistencia a los álcalis del vidrio y se utiliza en la fabricación de vidrios ópticos especiales, pequeñas cantidades de lantano, como aditivo, pueden utilizarse para producir hierro fundido nodular. En la actualidad existe un interés por las aleaciones de esponja de hidrógeno que contienen lantano. Estas aleaciones toman hasta 400 veces su propio volumen de gas hidrógeno, y el proceso es reversible. Cada vez que lo hacen se libera energía térmica; por tanto, estas aleaciones tienen posibilidades en los sistemas de conservación de energía. El lantano y sus compuestos tienen un índice de toxicidad aguda de bajo a moderado; por lo tanto, se debe tener cuidado al manipularlos. (Haynes *et al.*, 2014)

Con respecto a los depósitos de tierras raras Van Gosen y otros en 2017 nos dice que, los yacimientos de REEs se encuentran en entornos geológicos diversos y generalmente poco comunes, y que a pesar de ser comunes no suelen estar en concentraciones económicas. Los depósitos de REE económicos o potencialmente económicos (Figura 2.10) se encuentran principalmente en los siguientes entornos geológicos:

Los usos del itrio son en catalizadores, la cerámica, la electrónica, el láser, la metalurgia y los fósforos. En las aplicaciones cerámicas, se utiliza en refractarios de alta temperatura para toberas de colada continua, revestimientos de motores a reacción, sensores de oxígeno en motores de automóviles y herramientas de corte resistentes al desgaste y a la corrosión. En electrónica, los granates de itrio-hierro son componentes de los radares de microondas para controlar las señales de alta frecuencia. El itrio es un componente importante de los cristales láser de itrio-aluminio-granate utilizados en procedimientos quirúrgicos dentales y médicos, comunicaciones digitales, detección de distancia entre otros. En las aplicaciones metalúrgicas, el itrio se utilizaba como aditivo refinador de grano y como desoxidante. Se utilizó en aleaciones de elementos calefactores, superconductores de alta temperatura y superaleaciones, en compuestos de fósforo para pantallas planas y diversas aplicaciones de iluminación. (Cordier, 2022)

El cerio se utiliza en la fabricación de vidrio, tanto como componente como decolorante. El óxido se utiliza cada vez más como agente de pulido del vidrio en lugar del colorete, ya que es mucho más rápido que éste en el pulido de las superficies de vidrio. El cerio se utiliza en los catalizadores de los tubos de escape de los automóviles, también se utiliza en la fabricación de imanes permanentes. Y junto con otras tierras raras, se utiliza en la iluminación por arco de carbono, especialmente en la industria cinematográfica. También se utiliza como un importante catalizador en el refinado del petróleo y en aplicaciones metalúrgicas y nucleares. (Haynes *et al.*, 2014)

Los compuestos de tierras raras que contienen lantano se utilizan ampliamente en aplicaciones de iluminación con carbón, especialmente en la industria cinematográfica para la iluminación y proyección en estudios. Esta aplicación consume aproximadamente el 25% de los compuestos de tierras raras producidos. El óxido de lantano mejora la resistencia a los álcalis del vidrio y se utiliza en la fabricación de vidrios ópticos especiales, pequeñas cantidades de lantano, como aditivo, pueden utilizarse para producir hierro fundido nodular. En la actualidad existe un interés por las aleaciones de esponja de hidrógeno que contienen lantano. Estas aleaciones toman hasta 400 veces su propio volumen de gas hidrógeno, y el proceso es reversible. Cada vez que lo hacen se libera energía térmica; por tanto, estas aleaciones tienen posibilidades en los sistemas de conservación de energía. El lantano y sus compuestos tienen un índice de toxicidad aguda de bajo a moderado; por lo tanto, se debe tener cuidado al manipularlos. (Haynes *et al.*, 2014)

Con respecto a los depósitos de tierras raras Van Gosen y otros en 2017 nos dice que, los yacimientos de REEs se encuentran en entornos geológicos diversos y generalmente poco comunes, y que a pesar de ser comunes no suelen estar en concentraciones económicas. Los depósitos de REE económicos o potencialmente económicos (Figura 2.10) se encuentran principalmente en los siguientes entornos geológicos:

- Carbonatitas: las carbonatitas han sido la principal fuente mundial de LREEs desde la década de 1960. En 2016, los REEs se producían a partir de grandes cuerpos de carbonatita extraídos en China (depósitos de Bayan Obo, Maoniuping, Daluxiang y Weishan). Las intrusiones de carbonatita se presentan en una variedad de formas y composiciones de carbonatos. Las formas incluyen stocks, cuerpos tabulares, diques, masas de forma irregular y vetas. La composición de las carbonatitas varía desde la calcita, a la dolomita (dominante en dolomita;

llamada beforrita), al hierro-carbonato (rico en ankerita [Ca (Mg, Fe<sup>+2</sup>, Mn) (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] o siderita [Fe<sup>+2</sup> CO<sub>3</sub>]). La calcita y la dolomita también pueden aparecer en proporciones aproximadamente iguales. La composición de los carbonatos puede variar de forma compleja a lo largo de una intrusión de carbonatita. Las relaciones transversales, la mineralogía y la geoquímica han demostrado que las masas de carbonatita y los diques de diferente mineralogía y química en un mismo distrito pueden representar múltiples y discretos episodios de intrusión de magma carbonatado (Yang *et al.*, 2010).

- **Sistemas ígneos peralcalinos:** Los sistemas ígneos peralcalinos (grupo de tipos de roca que generalmente son deficientes en dióxido de silicio, definidas como aquellas en las que la proporción molecular de Al<sup>2</sup>O<sup>3</sup> < Na<sup>2</sup>O + K<sup>2</sup>O.) están inherentemente enriquecidos en REEs, y en algunos casos albergan depósitos de alta ley. Los complejos ígneos peralcalinos han sido objeto de exploraciones recientes debido a su enriquecimiento en HREEs. Los sistemas ígneos peralcalinos enriquecidos en REEs se presentan en una variedad de formas, tales como, complejos que muestran una zonificación vertical y latera, con estratificación, otros asociados a dique, vetas, stocks entre otras intrusiones peralcalinas. (Van Gosen *et al.*, 2017)
- **Cuerpos magmáticos magnetita-hematita magmáticos:** Los cuerpos magmáticos magnetita-hematita magmáticos: pueden contener minerales portadores de REE, con el potencial de recuperar los REE como subproducto durante la extracción de hierro. Algunos ejemplos son los depósitos del distrito de hierro de Pea Ridge, en el sureste de Missouri, y el distrito de hierro de Mineville, en el norte del estado de Nueva York (Long *et al.*, 2010). El torio y los REE residen dentro de la apatita en los cuerpos de hierro que se extrajeron en el distrito de hierro de Mineville, Nueva York. (Vierrether y Cornell, 1993).
- **Depósitos de óxido de hierro-cobre-oro (IOCG):** Los depósitos de IOCG están estrechamente relacionados con los depósitos de hierro magmáticos, En sentido

estricto, los yacimientos de IOCG se definen como yacimientos de hierro magmáticos-hidrotérmicos que albergan concentraciones económicas de cobre y oro. Este grupo de yacimientos se describió y definió por primera vez tras el descubrimiento en 1975 del gigantesco yacimiento de cobre, uranio y oro de Olympic Dam, en Australia Meridional, que es uno de los mayores yacimientos del mundo. Los yacimientos de IOCG pueden ser muy grandes y estar rodeados de zonas de alteración que pueden extenderse durante kilómetros de ancho. Como en Olympic Dam, los depósitos de IOCG pueden albergar mineralización de REE, que se produce tanto en óxidos de hierro como en pequeñas carbonatitas dentro del complejo intrusivo. (Van Gosen *et al.*, 2017)

- Acumulaciones de xenotita-monacita en gneis máficos: Las acumulaciones de xenotima-monacita en gneis máficos no han sido históricamente fuentes importantes de REEs. Sin embargo, dado que los depósitos de este tipo tienden a estar preferentemente enriquecidos en los HREE, podrían ser más económicos en el futuro. (Van Gosen *et al.*, 2017)
- Depósitos de arcilla de absorción de iones: Los depósitos de arcilla de adsorción iónica del sur de China son las principales fuentes mundiales de los HREE. Este tipo de yacimiento suele denominarse informalmente "arcillas del sur de China" (Figura 2.11). A pesar de su importancia económica, se ha publicado poca investigación geológica que describa los depósitos de arcilla del sur de China en detalle (Van Gosen *et al.*, 2017)
- Depósitos de placer con xenotio y monacita: Los depósitos placeres de monacita-xenotio fueron importantes fuentes de REEs hasta mediados de los años 60, pero su importancia disminuyó debido al descubrimiento del depósito de Mountain Pass en California. Los depósitos placeres pueden volver a ser fuentes significativas de REEs en un futuro próximo. En la actualidad, la monacita se extrae de arenas costeras en: el distrito minero de Buena Norte, en la costa oriental de Brasil, a lo largo de la costa suroccidental de la India, en el Estado de Kerala y

a lo largo de la costa del Estado de Odisha, en el noreste de la India (Gobierno de la India, Departamento de Energía Atómica, 2011). La monacita se recupera como subproducto durante la extracción de ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), leucoxeno (ilmenita alterada) y rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) de las arenas de playa. (Van Gosen *et al.*, 2017)



Figura 2-11. Mapa mundial que muestra la ubicación de minas de tierras raras (REE) activas o recientemente activas y proyectos de exploración avanzada en curso. Los proyectos de exploración se encuentran en la etapa de evaluación. Modificado de Van Gosen *et al.* (2017)

Según la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco, 2016), la situación de los yacimientos económicamente rentables en Chile es compleja, ya que, como se mencionó anteriormente, las principales fuentes de tierras raras se encuentran en rocas alcalinas y carbonatitas, que son escasas en el territorio chileno. Por otro lado, los yacimientos del tipo IOCG-IOA, ubicados en el cinturón de mineral de hierro de la Cordillera de la Costa, se citan como potenciales fuentes de tierras raras.

### 2.3.1.5 Torio

Al torio se le asignó originalmente una posición en el Grupo IV de la tabla periódica. Debido a su peso atómico, valencia, etc., actualmente se considera el segundo miembro de la serie de elementos actínidos. Cuando es puro, el torio es un metal blanco plateado que es estable al aire y conserva su brillo durante varios

meses. Cuando se contamina con el óxido, el torio se empaña lentamente en el aire, volviéndose gris y finalmente negro. (Haynes *et al.*, 2014)

Se cree que el torio es tres veces más abundante que el uranio y tan abundante como el plomo o el molibdeno. Es una fuente de energía nuclear, probablemente que haya más energía disponible para su uso a partir del torio en los minerales de la corteza terrestre que del uranio y de los combustibles fósiles. (Haynes *et al.*, 2014)

Como el torio tiene una baja función de trabajo y una alta emisión de electrones, se utiliza para revestir el alambre de tungsteno utilizado en los equipos electrónicos. El óxido también se utiliza para controlar el tamaño del grano del tungsteno utilizado en las lámparas eléctricas; también se utiliza para los crisoles de laboratorio de alta temperatura. (Haynes *et al.*, 2014)

La principal fuente mundial de torio es el mineral de fosfato de tierras raras y torio, la monacita. El uso del torio en la mayoría de los productos era generalmente limitado debido a la preocupación por su radiactividad natural. Las importaciones de compuestos de torio son esporádicas debido a los cambios en el consumo y a las fluctuaciones en los niveles de inventario de los consumidores. (Singh, 2022)

Los mayores productores de monzonita son Reino Unido (75%) y Canadá (25%) y compuestos de torio, India (74%) y Francia (26%). Los principales recursos de torio del mundo se encuentran en depósitos placeros, de carbonatita y de vetas. El torio se encuentra en varios minerales, como la monacita, la torita y la torianita. Según la Asociación Nuclear Mundial, los recursos de torio identificados en todo el mundo se estiman en un total de 6,4 millones de toneladas de torio. Los recursos de torio se encuentran en todo el mundo, sobre todo en Australia, Brasil, India y Estados Unidos. La India tiene los mayores recursos (850.000 toneladas), seguida de Brasil (630.000 toneladas) y Australia y Estados Unidos (600.000 toneladas cada uno). (Singh, 2022)

En el territorio chileno Martinic Beros (1973), comentó la presencia de combustibles atómicos como el torio que se encuentran en pequeñas proporciones en rocas ígneas y metamórficas, por lo tanto, no son yacimientos significativos, mientras Henríquez (1978) propuso la recuperación de torio como subproducto de los depósitos IOCG.

### **2.3.1.1 Uranio**

El uranio es un elemento natural que constituye aproximadamente entre 2 y 4 ppm de la corteza terrestre. Es más abundante que la plata y casi tanto como el molibdeno o el arsénico. El uranio es un elemento actínido y tiene la mayor masa atómica de todos los elementos naturales. En su estado refinado, es un metal pesado de color blanco plateado, maleable, dúctil, ligeramente paramagnético y muy denso, sólo superado por el wolframio. (Faroon *et al.*, 2013)

El principal uso del uranio durante el primer siglo tras su descubrimiento (y durante los dos milenios anteriores) fue como colorante para cerámicas y vidrios. (Morss *et al.*, 2006)

En la naturaleza, se encuentra en rocas y minerales de toda la Tierra, con las mayores concentraciones en Estados Unidos en los estados occidentales de Colorado, Arizona, Wyoming, Texas, Utah y Nuevo México (Lide 2005). En su estado natural, el uranio de la corteza terrestre se encuentra como componente de varios minerales, como la carnotita, la uraninita y la pechina, pero no se encuentra en estado metálico. (Faroon *et al.*, 2013)

Según la Asociación Nuclear Mundial alrededor de dos tercios de la producción mundial de uranio es de las minas que proviene de Kazajstán, Australia, Namibia y Canadá. (Tabla N°5) Entre las que destacan Cigar Lake (Canada) con un 10% de la producción mundial, Inkai 1-3 (Kazajistan) y Husab (Namibia) con un 7 % de la producción mundial y Four Mile y Olympic Dam (Australia) con un 5 y 4% de la producción mundial. Estas en su mayoría están asociadas a cuencas marinas las cuales posteriormente son metaforizadas e instruidas por plutones. (McKelvey & Nelson, 1950)

Tabla N°5. Producción de minas (toneladas U), Datos de la Asociación Nuclear Mundial (2022).

<b>País</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Kazajistán	21,31 7	22,45 1	23,12 7	23,60 7	24,68 9	23,32 1	21,70 5	22,80 8	19,47 7	21,81 9
Australia	6991	6350	5001	5654	6315	5882	6517	6613	6203	4192
Namibia	4495	4323	3255	2993	3654	4224	5525	5476	5413	5753
Canadá	8999	9331	9134	13,32 5	14,03 9	13,11 6	7001	6938	3885	4693
Uzbekistán	2400	2400	2400	2385	3325	3400	3450	3500	3500	3500
Níger	4667	4518	4057	4116	3479	3449	2911	2983	2991	2248
Rusia	2872	3135	2990	3055	3004	2917	2904	2911	2846	2635
China	1500	1500	1500	1616	1616	1692	1885	1885	1885	1885
Ucrania	960	922	926	1200	808	707	790	800	744	455
India	385	385	385	385	385	421	423	308	400	615
Sudáfrica	465	531	573	393	490	308	346	346	250	385
Irán	0	0	0	38	0	40	71	71	71	71
Pakistán	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Brasil	326	192	55	40	44	0	0	0	15	29
EE. UU	1596	1792	1919	1256	1125	940	582	58	6	8
República Checa	228	215	193	155	138	0	0	0	0	0
Rumania	90	77	77	77	50	0	0	0	0	0
Francia	3	5	3	2	0	0	0	0	0	0
Alemania	50	27	33	0	0	0	0	0	0	0
Malawi	1101	1132	369	0	0	0	0	0	0	0
mundo total	58,49 3	59,33 1	56,04 1	60,30 4	63,20 7	60,51 4	54,15 4	54,74 2	47,73 1	48,33 2

toneladas	68,97	69,96	66,08	71,11	74,35	71,36	63,86	64,55	56,28	56,99
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	4	6	7	3	7	1	1	4	7	5
% de la demanda mundial	94%	91%	85%	98%	96%	93%	80%	81%	74%	77%

En el territorio chileno Martinic Beros (1973), comentó la presencia de combustibles atómicos como el uranio que se presenta en múltiples depósitos de baja ley principalmente como óxido de uranio, clasificando depósitos como, conglomerados, gres, filones y otros (fosfatos, esquistos, carbones), sin embargo, ninguno era un depósito significativo mientras Henríquez (1978) propuso la recuperación de torio como subproducto de los depósitos IOCG.

#### 2.4 Depósitos IOCG.

La clasificación de los depósitos IOCG es empírica y surge de su signatura geoquímica la cual consiste en grandes cantidades de óxidos de Fe asociados con Cu, Au y Ag (Hitzman *et al.*, 1992), muchos de ellos pueden estar enriquecidos en una diversa suite de elementos menores incluyendo combinaciones de F, P, Co, Ni, As, Mo, Zn, Ba, LREE, y U (Hitzman, 2000; Sillitoe, 2003, Williams *et al.*, 2005; Groves *et al.*, 2010). Las características clave de estos depósitos son: la presencia de Cu con o sin Au como metales económicos; variados estilos de mineralización (vetas, brechas hidrotermales, mantos o la combinación de todos) con un fuerte control estructural; abundante magnetita y/o hematita; y óxidos de Fe con razones de Fe/Ti más altos que las rocas ígneas (Williams *et al.*, 2005). Otras características comunes de algunos IOCG son: una amplia asociación espacio-temporal con batolitos y grandes volúmenes de roca con metasomatismo alcalino pervasivo (Williams *et al.*, 2005)

Los depósitos IOCG están ampliamente distribuidos en tiempo y espacio alrededor del mundo, abarcan edades desde el Arcaico hasta el Cenozoico (Figura 2.11.). (Groves *et al.*, 2010)

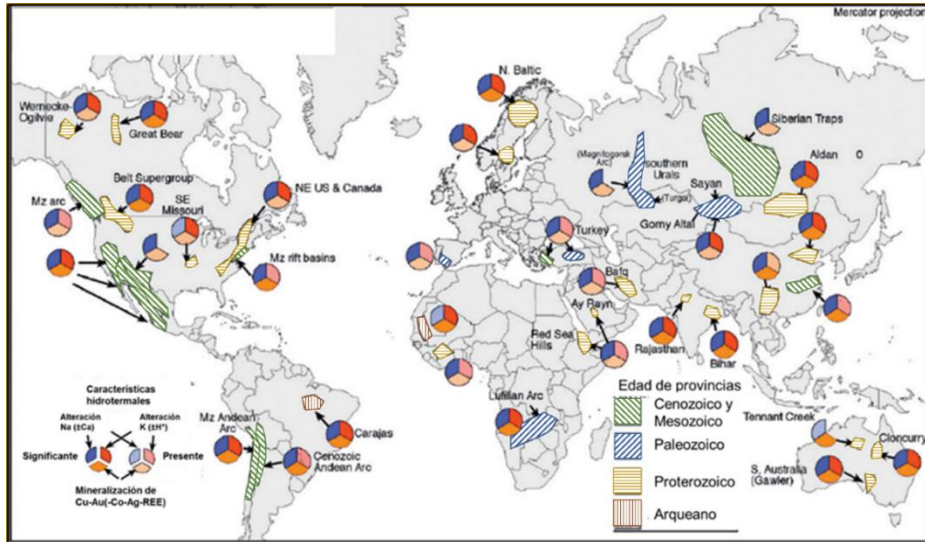


Figura 2-12. Distribución mundial de depósitos IOCG. edades de provincias y mineralización de cobre y/u oro. Extraído de Barton, (2014) basado en Williams *et al.*, (2005).

Los yacimientos IOCG que se ubican en los Andes Centrales entre Chile y Perú, muestran una estrecha asociación con batolitos mesozoicos y sistemas de fallas arco-paralelas (Figura 2.14). En el norte de Chile los depósitos son hospedados por rocas volcánicas jurásicas de la Formación La Negra y sus equivalentes estratigráficos, y además por los plutones del Jurásico Tardío – Cretácico Temprano (Sillitoe, 2003). Los estilos de mineralización que existen en los Andes Centrales son los más comunes de los sistemas IOCG, se pueden dar solos o una combinación variada. Los depósitos vetiformes son los más abundantes y ocurren a lo largo de la Cordillera de la Costa, en especial en el norte de Chile. Sin embargo, los principales depósitos IOCG muestran un estilo de mineralización compuesto que incluye brechas, stockworks y mantos de reemplazamiento, además de vetas, y se observa principalmente en Candelaria-Punta del Cobre (Marschik y Fontboté, 2001) y Mantoverde (Zamora y Castillo, 2001). Estos depósitos compuestos suelen tener brechas hidrotermales y tectónicas, además de contener cuerpos mineralizados diseminados controlados en parte por la permeabilidad de los estratos producto de la fragmentación de los horizontes volcánico - clásticos (Sillitoe, 2003).

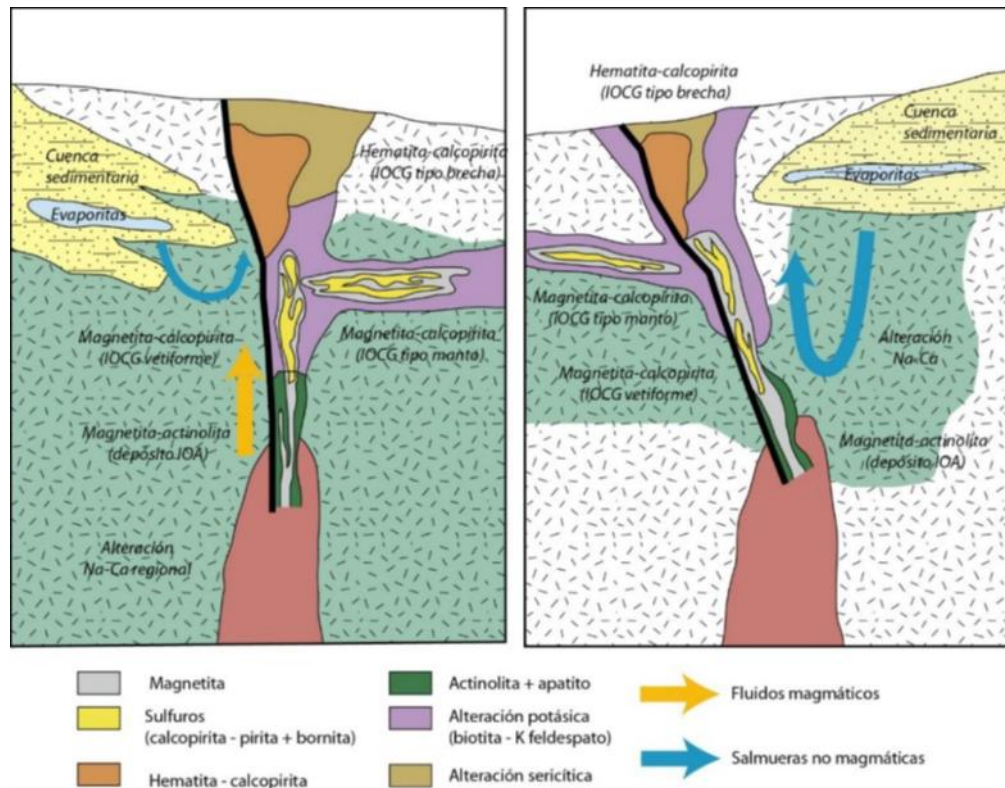


Figura 2-13. Modelos esquemáticos propuestos para el origen de los IOCG. A) Modelo magmático-hidrotermal con fluidos y metales de origen magmático. B) Los fluidos son derivados de cuencas sedimentarias y son calentados por una fuente magmática, los metales son removidos de rocas sedimentarias y/o rocas volcánicas. Modificado de Barra *et al.*, 2017.

Particularmente en Chile, este tipo de yacimiento se distribuye, principalmente, en la Cordillera de la Costa, entre los 22° y 30° S, como una franja continua que se superpone con la bien definida Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa (Vivallo, 2009). Los depósitos agrupados en esta franja (Figura 2.13) fueron formados durante el mesozoico principalmente divididos en dos etapas de mineralización, la primera etapa aconteció en el Jurásico (165-155 Ma.), en tanto la segunda etapa ocurrió en la época Cretácico Temprano (120-100 Ma.) y es señalada como el evento metalogénico más importante que dio paso a la formación de depósitos de tipo IOCG e IOA (Cerro Negro, Cerro Imán, Mantoverde, Candelaria) (Sillitoe, 2003; Vivallo *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2013).

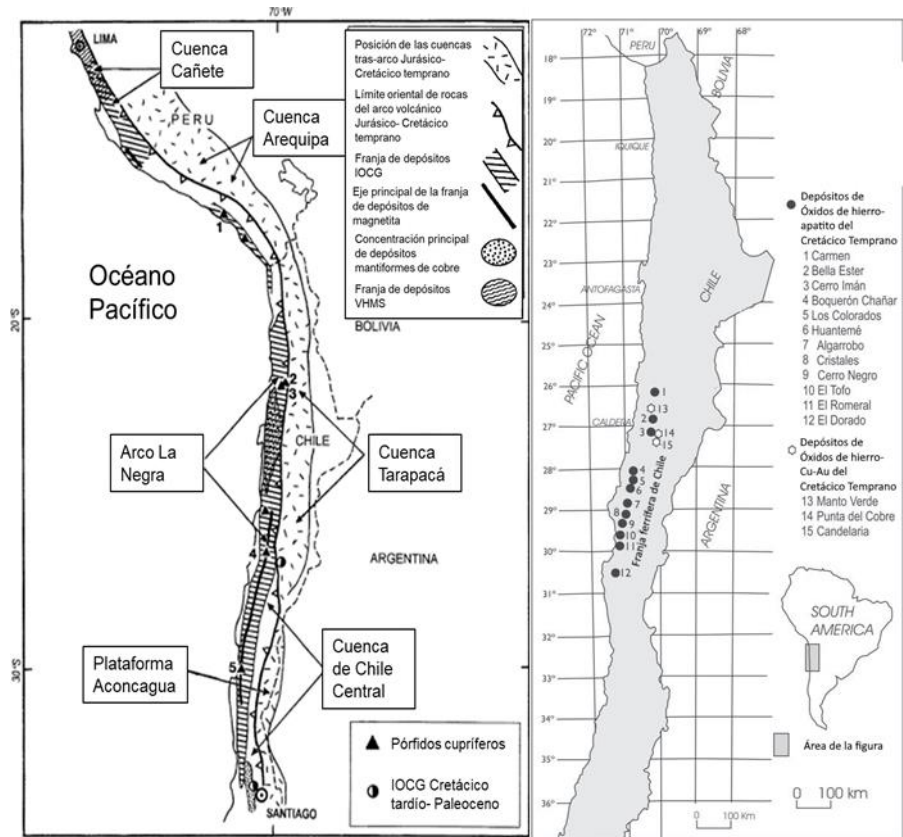


Figura 2-14. Posición de la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa y sus depósitos. A) Imagen ilustrando la extensión de la Franja de depósitos tipo IOCG distribuidos entre Chile y Perú y otros rasgos morfológicos. Extraído y modificado de Sillitoe (2003). B) Mapa de localización de los depósitos IOCG e IOA en el Cretácico Temprano, conformando la Franja Ferrífera de Chile (Modificado de Charrier *et al.*, 2007).

### 3 Capítulo III: Metodología

La metodología utilizada en este estudio se centró principalmente en la descripción petrográfica de las muestras de la región de estudio con una descripción del lugar y lograr conocer con precisión la distribución espacial de los elementos, así como la cuantificación del porcentaje que se concentra en cada zona

Este estudio ha sido estructurado en tres etapas principales: la fase previa al trabajo de campo (pre terreno), la fase en el terreno y la fase posterior al trabajo de campo, que involucra análisis en gabinete.

#### 3.1 Etapa de pre terreno

En primer lugar, se realizó una recopilación bibliográfica sobre las características, concentración y distribución de los yacimientos de los elementos estratégicos, así como sobre las características de los yacimientos que podrían localizarse en la zona de estudio. Esta información se obtuvo de publicaciones científicas, libros y mapas geológicos.

En segundo lugar, mediante la observación de imágenes satelitales (Google Earth.) de la zona de estudio y su carta geológica se definieron las zonas de interés y se creó un mapa base para el posterior muestreo en la fase de campo. (Figura 3.1)



Figura 3-1. Mapa base área de estudio. Elaboración propia.

### **3.2 Etapa de terreno.**

Esta etapa se llevó a cabo en dos salidas a terreno, ejecutando labores como:

- Toma de coordenadas UTM de cada sector de interés definido en la etapa anterior. El Datum utilizado fue WGS84 19S. Incluyendo una pequeña descripción del lugar, la que incluyó definir mineralización, morfología, tamaño y orientación de vetas si correspondía, las cuales fueron medidas con brújula GeoBrunton y en notación círculo completo.

Una vez descrito el lugar se procedió a la recolección de muestras, donde se enfatizó en recolectar muestras que tuvieran minerales o litologías asociadas a depósitos IOCG-IOA. Su codificación fue determinada en una primera salida por el punto que se visitó y el número de muestra obtenida, por ejemplo, P12M1, corresponde al área o punto 12 en la salida y M1 corresponde a la primera muestra tomada, en la segunda salida se codificó como S2PxVxMx, donde S2 corresponde a salida dos, la P al punto, V por el número de veta y M al número de muestra recolectada

### **3.3 Etapa de post terreno**

Durante esta última etapa se realizaron las siguientes operaciones:

Se llevó a cabo una base de datos la cual detalla la ubicación, estructuras, potencia y mineralización de las muestras, las cuales al ser contabilizadas las arrojando un total de 119 en 15 sectores de interés.

Una vez contabilizadas e ingresadas en la base de datos se procedió a realizar, un desgaste mecánico a las muestras para poder realizar los análisis geoquímicos.

Se realizó la medición geoquímica de elementos mediante Fluorescencia de rayos X, en el Laboratorio de Geología Económica del Departamento de Geología de la Universidad de Atacama. Para esto se utilizó un equipo marca BRUKER modelo S1 TITAN (Figura 3.1). Las rocas mineralizadas fueron analizadas por el método de elementos traza (el cual detecta una variedad de 45 elementos). En casos en los que los valores de los elementos de interés medidos fueran altos se realizaron dos o más

análisis distribuidos en las caras frescas de las rocas. Se totalizaron 260 análisis geoquímicos.

Los datos de estos análisis fueron entregados al software Bruker Data en formato pdf, los que debieron ser adjuntados a la base de datos antes creada.

Con los datos ya tabulados, se definió con que elementos se trabajarían (Cobalto, vanadio, manganeso, cerio, lantano, itrio, torio y uranio) en la construcción de gráficos y también que gráficos se utilizarían. (boxplot, binarios, histogramas). Los gráficos de caja o bigote se determinó el valor de fondo geoquímico (back ground) y el umbral de anomalías, donde la caja representa el 50% de los datos ordenados, acotados entre el primer cuartil (Q1) y el tercer cuartil (Q3) que corresponden estadísticamente al 25% y 75% de los datos respectivamente. La diferencia entre estos cuartiles entrega el valor de rango intercuartil (RIC) de la caja. La barra horizontal dentro de la caja representa a la mediana (Q2), cuya posición describe la simetría o inclinación de los datos, el círculo negro la media, los círculos blancos datos anomalos leves y los triángulos datos anomalos extremos

Debido a los resultados obtenidos por la fluorescencia de rayos X, se seleccionaron 10 muestras, las cuales poseen altas concentraciones de elementos de interés, las que fueron enviadas al laboratorio para obtener cortes pulidos y/o transparentes, tomando en cuenta las características mineralógicas de cada muestra, donde aquellas que poseían mineralización de magnetita fueron preparadas para corte pulido, mientras que las que no a transparentes. Cabe destacar que solo se seleccionaron las muestras de la primera salida.

Las secciones transparentes y pulidas fueron descritas mediante un microscopio binocular marca Motic modelo BA310 pol (Figura 3.1). Las secciones transparentes fueron analizadas mediante luz reflejada, y además se sacaron fotos con lupa binocular, a las zonas de más muestras con mayor concentración de elementos.

Finalmente se levantó y digitalizó un mapa geoquímico mediante el software Qgis. En este las concentraciones anómalas fueron definidas tomando en cuenta el valor de la mediana obtenida al realizar el gráfico de caja y bigote (Boxplot) de cada sector.

#### 4 Capítulo IV: Resultados.

##### 4.1 Geología de las zonas mineralizadas

La Figura 4.1 muestra el área de estudio y deja en evidencia cada uno de los sectores donde se recogieron muestras, estos sectores poseen diferentes características mineralógicas las que serán descritas a continuación.



Figura 4-1. Mapas de sectores estudiados. Elaboración propia. Imagen modificada de Google Earth.

##### 4.1.1 Sector 12

Ubicado en las coordenadas UTM, 352464 E 6966525 N

El sector 12 es una labor minera activa llamada Mina Loreto, con labores subterráneas ubicada al S-W de la ciudad de Copiapó. La mina presenta una mineralización de crisocola, óxidos de manganeso *copper wad* en brechas de manera supergena, acompañado de vetas de cuarzo y jaspe con una orientación asociada a una falla inversa 70/84, en labores subterráneas se encontraron minerales como calcopirita,

pirita magnetita (Figura 4.2). En esta zona es donde se detectó la mayor anomalía de uranio (0.358%) en la muestra P12M11 zona E. a metros del sector se encuentra una labor sin desarrollar donde se observan óxidos negros de cobre (*copper wad*).



Figura 4-2. Mapa sector 12. Se observa que la estructura mineralizada posee una orientación N-S. Elaboración propia.

De acuerdo a los análisis de fluorescencia de rayos X, se encontraron concentraciones interesantes de Cobalto, Lantano, Hafnio, Uranio, es por esto que se realizaron cortes transparentes y pulidos.

En la muestra P12M5, se detectó una alta concentración de cobalto (0.36%), la cual macroscópicamente se caracterizó por ser una magnetita masiva con alto nivel de magnetismo, con presencia de lentes de cuarzo y pequeñas patinas de óxidos de cobre (Figura 4-3 A). Microscópicamente se observó un 95% de magnetita masiva con un alto grado de fracturación acompañado de hematitas (3%) y cuarzo (2%) (Figura 4-3 B.)

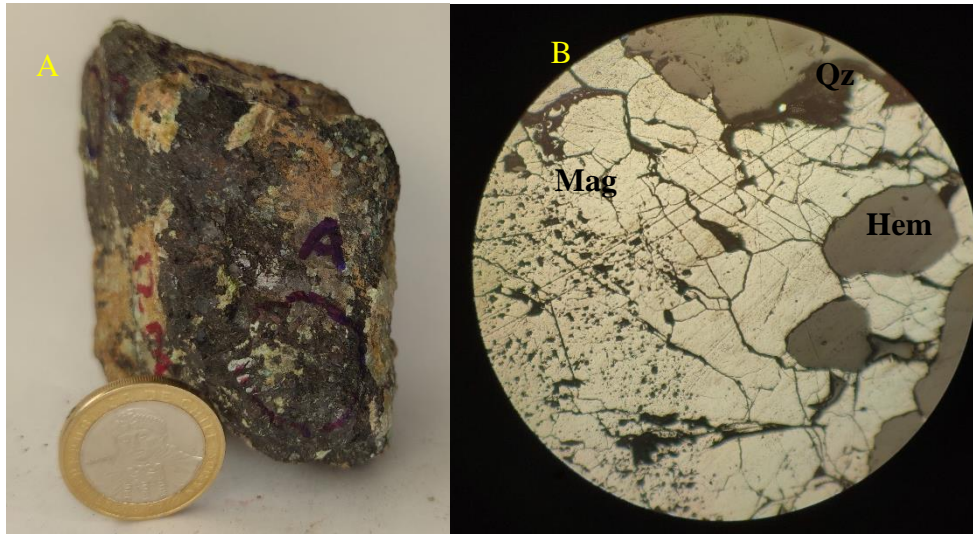


Figura 4-3. Muestra P12M5 macroscópica y microscópica. A) Muestra de mano. B) Fotografía corte pulido en 5x.

En la muestra P12M8, se detectó una alta concentración de cobalto (1%), la cual macroscópicamente se caracterizó por ser una magnetita masiva con alta presencia de óxidos de cobre (crisocola) y manganeso. Microscópicamente se observaron cristales anhedrales inequigranulares de cuarzo (50%) y ortoclasa (50%) (Figura 4-4 B), con una textura pegmatítica (Figura 4-4 D) y otra peritítica en los cristales de ortoclasa (Figura 4-4 F). Con respecto a los minerales de mena se observó la presencia de magnetita masiva, excepto por un nódulo con aureolas de alteración hematítica (Figura 4-4 E).

Para la muestra P12M10, se detectó una alta concentración de cerio (0.164%) y lantano (0.056%), la cual macroscópicamente se caracterizó por ser una roca con un alto nivel de alteración a limonitas, además de presentar una mineralización de crisocola y chenevixita (Figura 4-5 A). Microscópicamente se observó la presencia de cristales subhedrales de magnetita fracturados y hematita (Figura 4-5 B), además en se pueden observar cristales de cuarzo ser penetrados por vetillas de hematita y minerales opacos (Figura 4-5 C), mientras que los cristales de plagioclasa presentan una fuerte alteración a sericita (Figura 4-5 D)

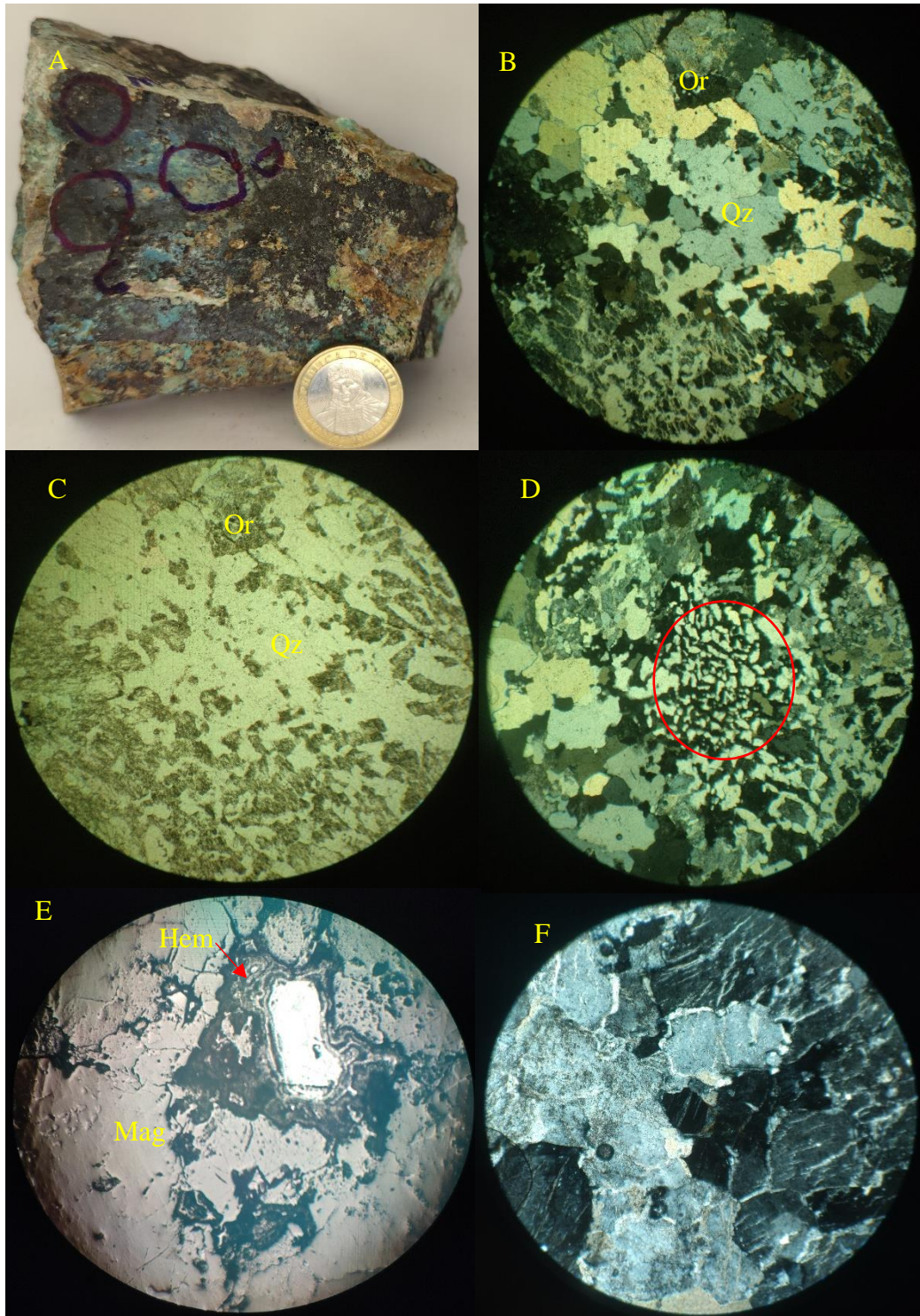


Figura 4-4. Muestra P12M8 macroscópica y microscópica. A) Muestra de mano. B) Fotografía en nicols cruzados a 5x. C) Fotografía en luz polarizada a 5x. D) Fotografía en nicols cruzados a 5x. E) Fotografía de corte pulido a 10x. F) Fotografía en nicols cruzados a 5x.

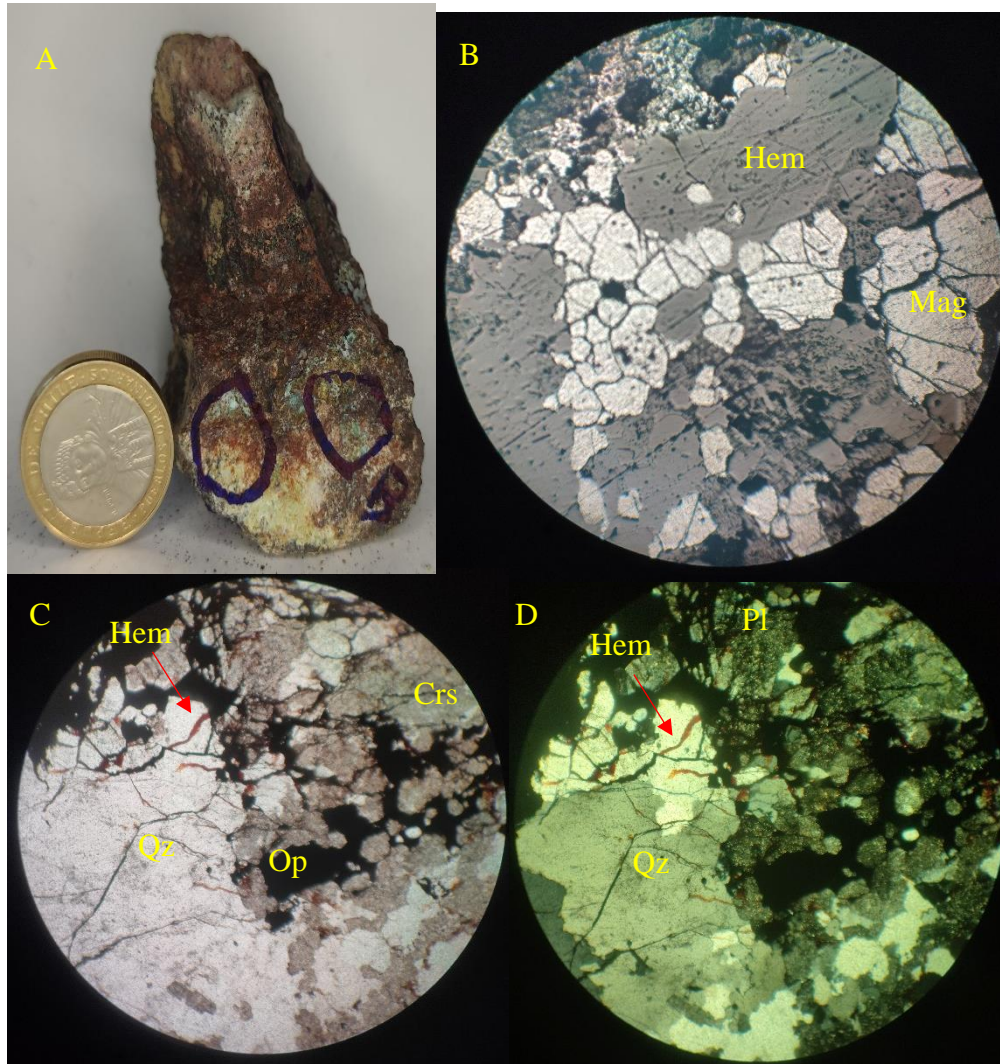


Figura 4-5. Muestra P12M10 macroscópica y microscópica. A) Muestra de mano B) Fotografía corte pulido en 5x. C) Fotografía corte transparente en luz polarizada plana a 5x. D) Fotografía corte transparente en nicoles cruzados a 5x.

En la muestra P12M11, se detectó una alta concentración de hafnio (0.113%), cobalto (0.007%) y uranio (0.358%). Donde la zona A rica en hafnio (Figura 4-6 A) macroscópicamente se caracterizó por ser una roca con presencia de minerales oxidados de cobre como la crisocola y la brocantita, mientras que la zona E (Figura 4-6 B) se caracterizó por la presencia de limonitas. Microscópicamente se observó la presencia de cristales anhedrales de cuarzo, ortoclasa y plagioclasa la cual esta alterando a sericita y clorita, además de un cristal de óxido de hierro (Figura 4-6 B y C). Con respecto a los minerales de mena solo se observó magnetita masiva acompañada de cuarzo (Figura 4-6 E).

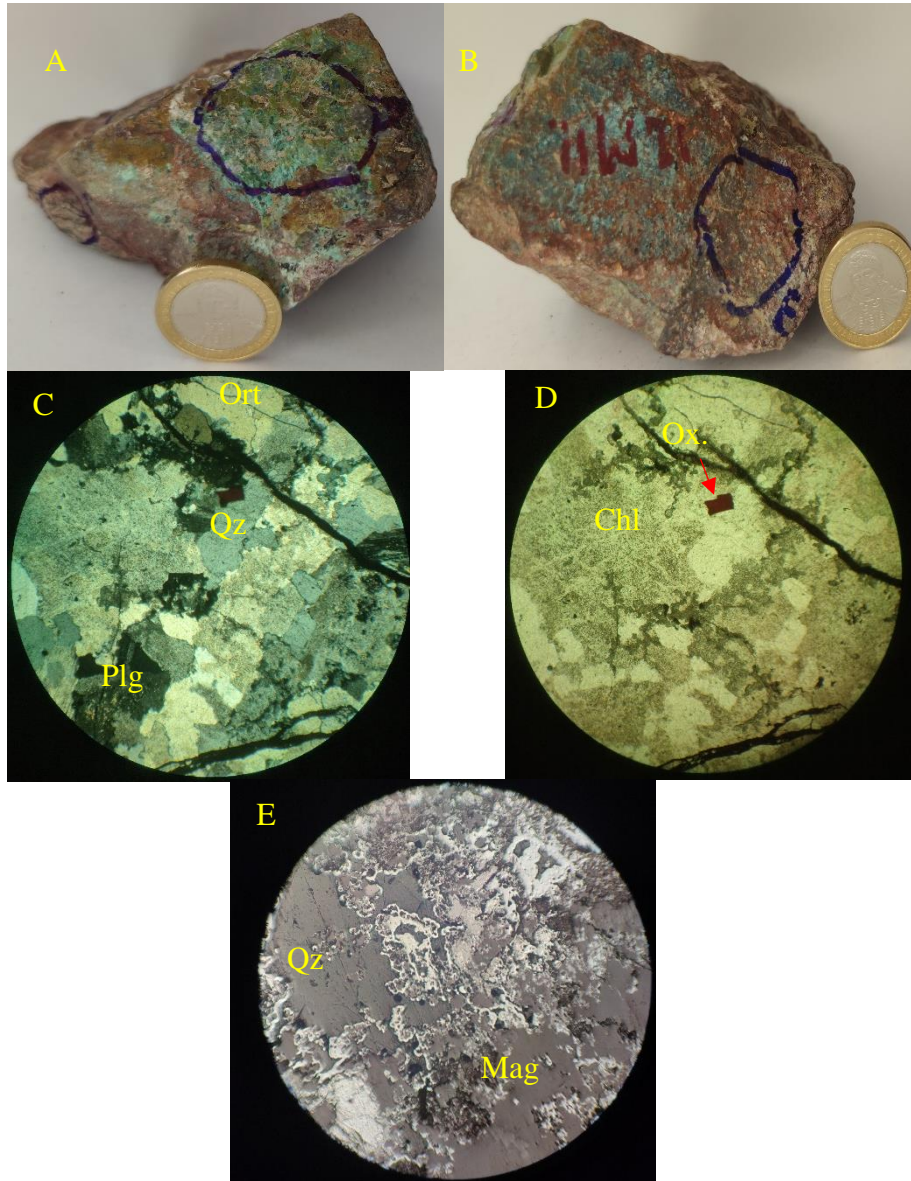


Figura 4-6. Muestra P12M11 macroscópica y microscópica A) Fotografía muestra de mano zona A. B) Fotografía muestra de mano zona E. C) Fotografía corte transparente en nicoles cruzados en 5x. D) Fotografía Corte transparente en luz polarizada plana en 5x. E) Fotografía corte pulido a 10x

Para la muestra P12M12, se detectó una alta concentración de cobalto (0.348%) y uranio (0.242%), macroscópicamente se observa que es una roca compuesta por magnetita masiva con patinas de crisocola y óxidos de manganeso (Figura 4-7 A). Microscópicamente se observaron cristales de ortoclasa alterando a clorita, además de vetillas de óxidos de hierro (Figura 4-7 B Y C). Con respecto a los minerales de mena se observó mediante un corte pulido la presencia de magnetita con una posible zona de exsolución (Figura 4-7 D).

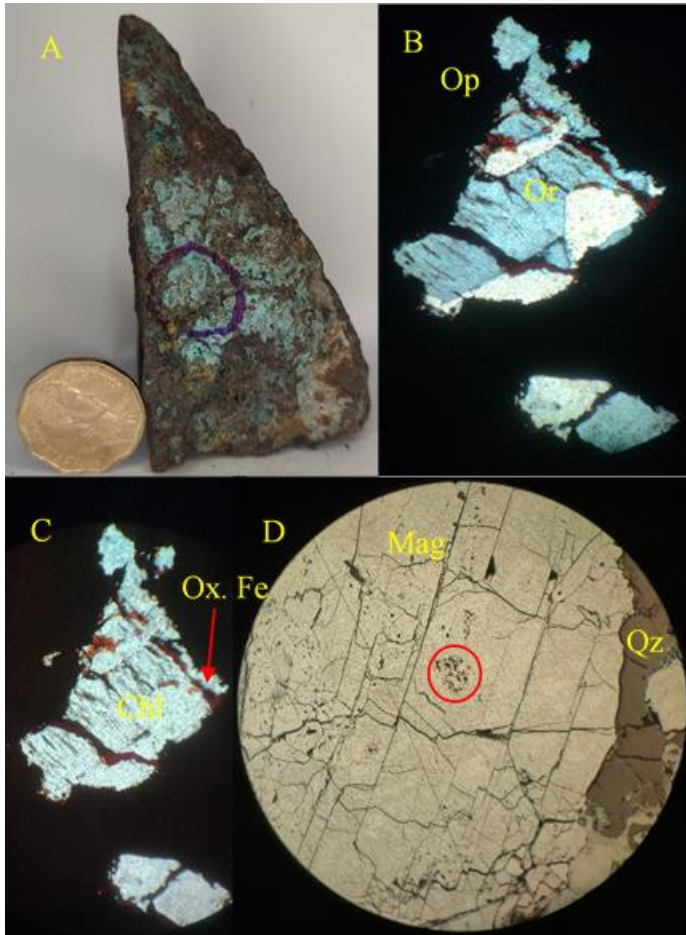


Figura 4-7. Muestra P12M12 macroscópica y microscópica. A) Muestra de mano B) Fotografía corte transparente en nicols cruzados en 10x. C) Fotografía corte transparente en nicols cruzados en 10x. D) Fotografía corte transparente en nicols cruzados en 10x.

Finalmente, en la muestra P12M13 se detectó una alta concentración de cobalto (0.369%), macroscópicamente se caracterizó por estar compuesta de minerales como magnetita, pirita y calcopirita (Figura 4-8 A). Microscópicamente al observar el corte pulido se observaron que existen cristales de magnetita y pirita dentro de la masa de calcopirita (Figura 4-8 B), bordes mutuos entre la calcopirita y pirita (Figura 4-8 C), además penetración guiada de calcopirita en la magnetita (Figura 4-8 D).

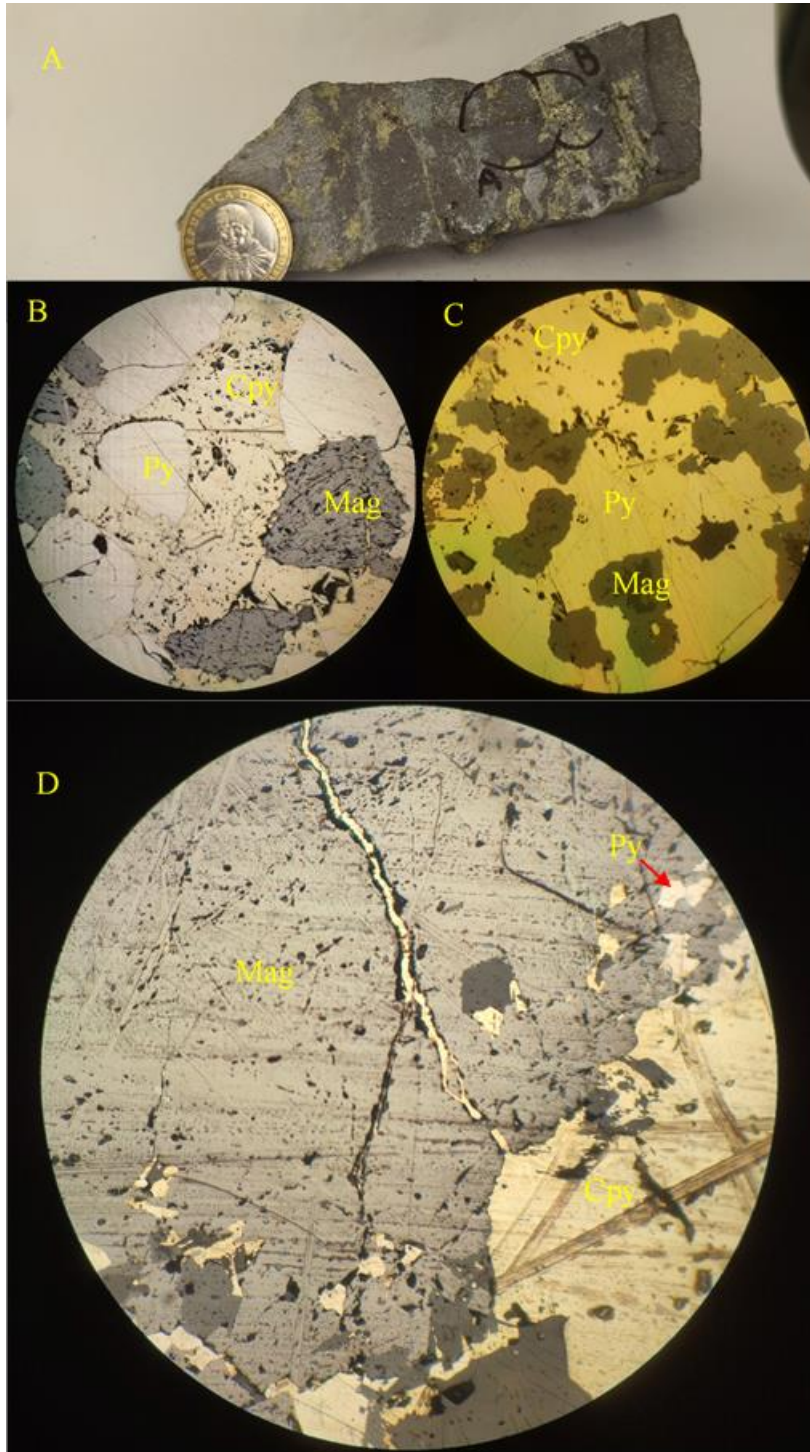


Figura 4-8. Muestra P12M13 macroscópica y microscópica. A) Muestra de mano. B) Fotografía corte pulido en nicóles cruzados a 5x C) Fotografía corte pulido a 5x en nicóles cruzados D) Fotografía corte pulido en nicóles cruzados a 10x

#### 4.1.2 Sector 14

Ubicado en las coordenadas UTM, 339095 E, 6978138 N

El sector 14 está ubicado en el Cerro Relincho (Figura 4-9), es una veta abandonada de orientación NN-W de 1 metro de ancho con mineralización de magnetita masiva, hematita especular, óxidos de manganeso y alteración de limonitas.



Figura 4-9. Mapa Satelital del sector 14, donde se muestra la orientación NN-W que posee la veta

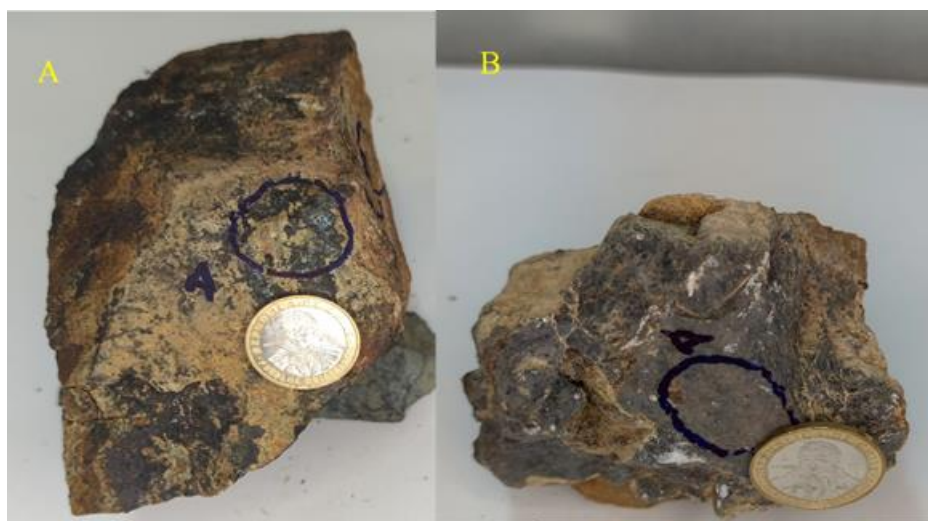


Figura 4-10. Muestras representativas del sector. A) Muestra de mano P14M1, se observan cristales de magnetita, óxidos de manganeso y limonitas. B) Muestra de mano P14M3 zona A donde se observa hematita especular.

### 4.1.3 Sector 15

Ubicado en las coordenadas UTM, 339090 E, 6978410 N.

El sector 15 se encuentra en el Cerro Relincho y corresponde a una veta abandonada de orientación NN-W (Fig. 4-11) con una potencia de 1 metros de minerales en su mayoría de hierro, tales como magnetita con un bajo nivel de magnetismo, hematita especular y limonitas (Fig.4-12 A y B)



Figura 4-11. Mapa Satelital del sector 15 donde se muestra la orientación NN-W que posee la veta.



Figura 4-12. Muestras representativas del sector 15. A) Muestra de mano P15M1. B) Muestra de mano P15M3

#### 4.1.4 Sector 16

Ubicado en las coordenadas UTM, 339107 E, 6978513 N.

El sector 16 se encuentra en la cima del Cerro Relincho, es una veta abandonada con una potencia de 1 metro y de orientación NN-W (Figura. 4-13), con una mineralización de hematita especular además de vetillas fracturando la roca las cuales están alteras a limonitas (Fig. 4-14 A) y solo limonitas (Fig. 4-14B).



Figura 4-13. Mapa Satelital del sector 16 donde se muestra la orientación NN-W que posee la veta.



Figura 4-14. Muestras de mano representativas del sector 16. A) Muestra de mano P16M1. B) Muestra de mano P16M2.

#### 4.1.5 Sector 17

Ubicado en las coordenadas UTM, 349247 E, 6972056 N.

El sector 17 se ubica en el sector de Sierra Poblete, y un cuerpo brechiforme abandonado de 26 metros cuadrados (Figura. 4-15) conformado por magnetita con la presencia de limonitas (Figura. 4-16 B) y brechas hidrotermales. (Figura. 4-16 A)

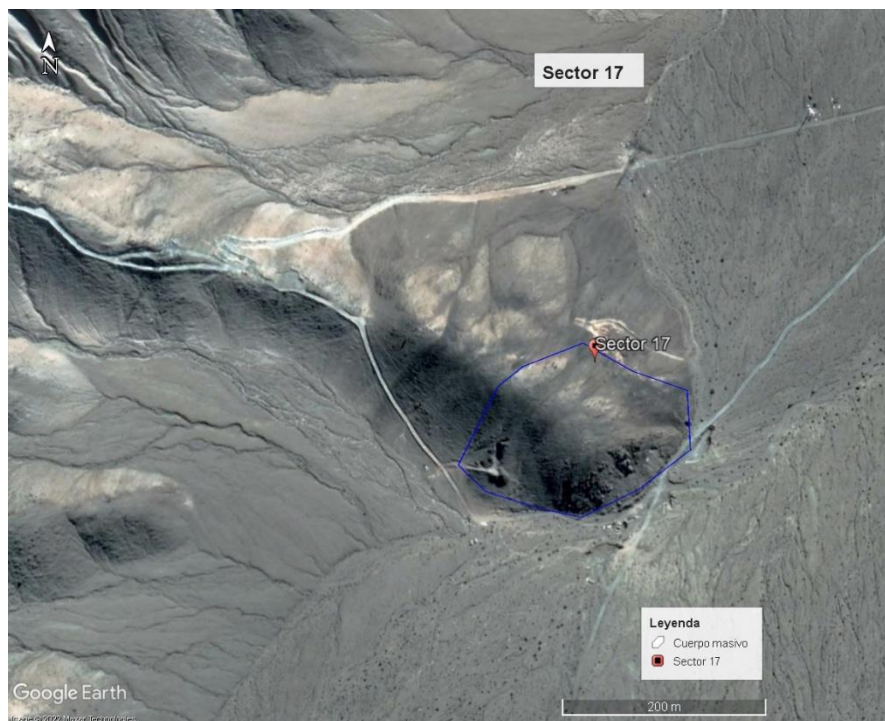


Figura 4-15. Mapa Satelital del sector 17 donde se muestra el área del cuerpo mineralizado

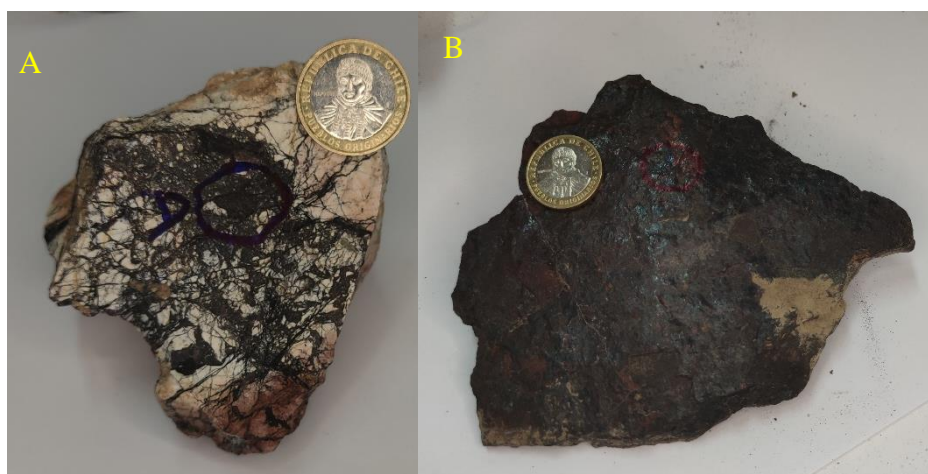


Figura 4-16. Muestras representativas del sector 17. A) Muestra de mano P17M5. B) Muestra de mano P17M9.

#### 4.1.6 Sector 18

Ubicado en las coordenadas UTM, 349680 E, 6968501 N.

El sector 18 está ubicado en la Sierra Poblete (Fig. 4-17), y es una veta abandonada de una potencia de 0.5-1 metros, con mineralización de óxidos de cobre tales como crisocola y magnetita (Fig. 4-18 A). En esta zona se detectó la principal anomalía de hafnio y manganeso, con concentraciones de 0.223% y 29.107% respectivamente (Fig. 4-18 B).



Figura 4-17. Mapa Satelital del sector 18 donde se muestra la orientación N-E que posee la veta.

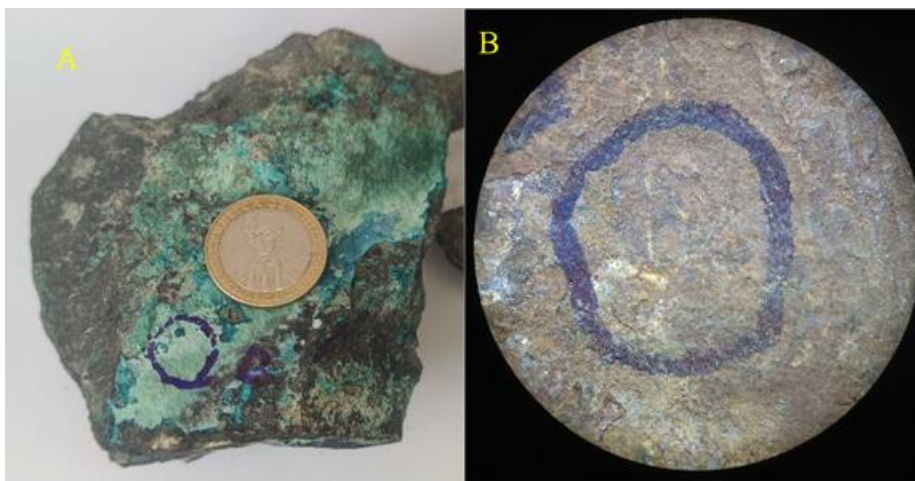


Figura 4-18. Muestras representativas del sector 18. A) Muestra de mano P18M11 B) Fotografía en lupa binocular de muestra P18M7 zona C

#### 4.1.7 Sector 19

Ubicado en las coordenadas UTM, 350532E, 6967308 N.

El sector 19 está ubicado en la Sierra Poblete (Fig. 4-20), y es un cuerpo irregular abandonado con labores antiguas orientadas al N-EE presenta minerales de cobre como crisocola en pátina, óxidos negros de cobre y magnetita masiva. (Fig. 4-21 A)



Figura 4-19. Mapa Satelital del sector 19 donde se muestra la orientación N-EE de las labores realizadas por antiguos mineros.

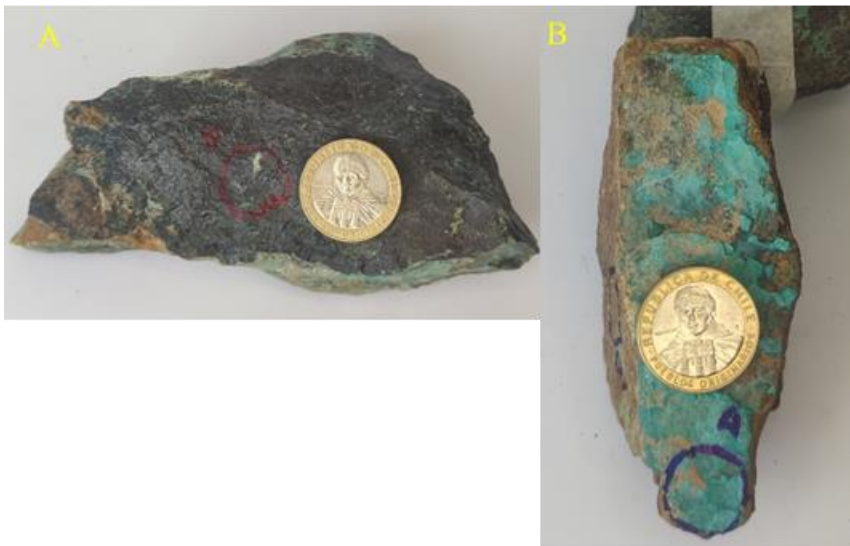


Figura 4-20. Muestras representativas del sector 19. A) Muestra de mano P19M1. B) Muestra de mano P19M7.

#### 4.1.8 Sectores 20 al 27

Los sectores 20 al 27 están ubicados en el área más S-W del área de estudio, y son vetas abandonadas (sectores del 20 al 23 y el 27) y en producción (sectores del 24 al 26) las cuales poseen rumbos en su mayoría N-W a diferencia de un rumbo N-S correspondiente al sector 24 (Fig. 4-21). Las coordenadas de cada sector se pueden observar en la siguiente tabla

Tabla N°6. Coordenadas UTM de los sectores del 20 al 27.

Sector	Este	Norte
20	337479	6967502
21	338061	6967166
22	338040	6967178
23	338298	6966896
24	338376	6966148
25	338400	6966154
26	338481	6966209
27	337785	6966387



Figura 4-21. Mapa Satelital de los sectores 20 al 27.

Con respecto a la mineralización en esta zona se caracteriza por presentar vetas de magnetita masiva y hematita especular (Figura 4-22 C.), pátinas de óxidos de cobre como crisocola atacamita y brocantita (Figura 4-22 D.). En el sector 26 se obtuvo la mayor concentración de cobalto (15.48%) la cual se obtuvo del análisis de la muestra S2P5V3M3 zona A, definido como un óxido de manganeso (Figura 4-22 A). Mientras en el sector 23 se obtuvo la mayor concentración de lantano (0.839%) la cual se obtuvo del análisis de la muestra S2P4V2M6 zona A, definido como óxidos de cobre y hierro. En el caso del sector 27 se obtuvo la mayor concentración de cerio (1.269%) la cual se obtuvo del análisis de la muestra S2P6V1M6 zona B, definida como hematita especular, también en este sector se obtuvo la mayor concentración de torio (0.52%) la cual se obtuvo de la muestra S2P6V1M5 zona C definida como óxidos de manganeso acompañado de una pátina de óxidos de cobre (crisocola)

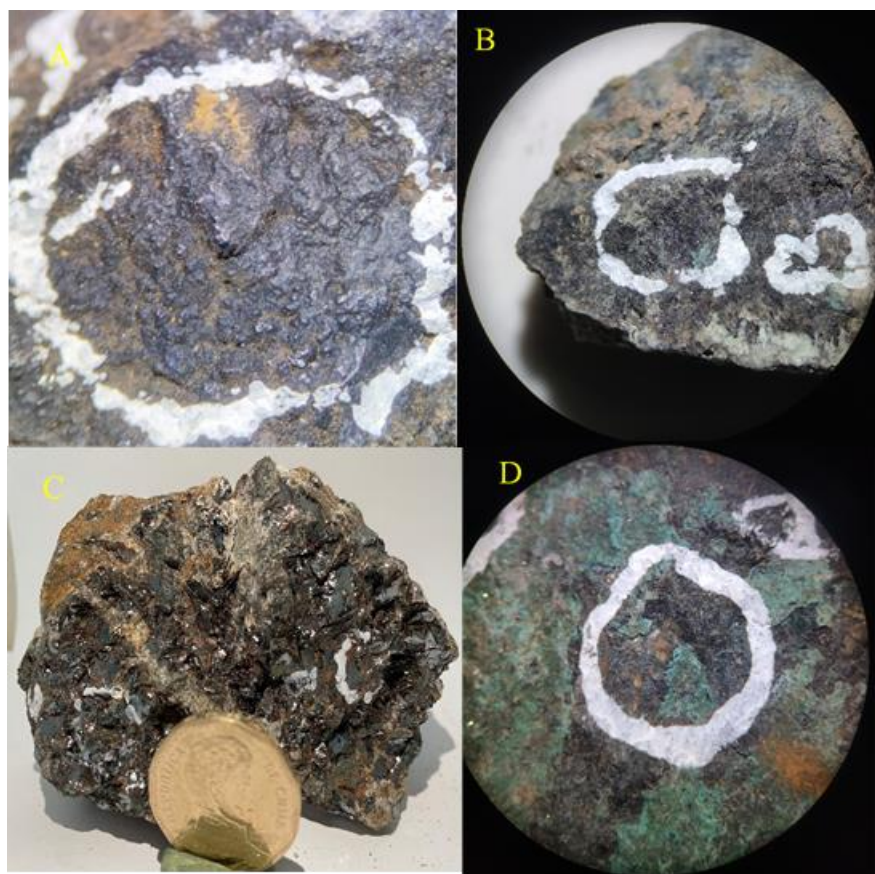


Figura 4-22.. Fotografías sacadas en lupa binocular y muestra de mano de las mayores concentraciones de cobalto, lantano, cerio y torio. A) Fotografía binocular de la muestra S2P5V3M3 zona A. B) Fotografía binocular de la muestra de la muestra S2P4V2M6 zona A. C) Muestra de mano de la muestra S2P6V1M6 zona B. D) Fotografía binocular de la muestra de la muestra S2P6V1M5 zona C.

## 4.2 Geoquímica de elementos estratégicos

Se realizaron 256 detecciones con fluorescencia de rayos X donde se mide la concentración de 45 elementos en las 119 muestras recolectadas de los 15 sectores anteriormente descritos. Estos resultados se enfocan en el entendimiento del comportamiento estadístico de elementos puros detectados trabajando solo con 39 de los 45 que detectados los cuales incluían a óxidos de ciertos elementos.

A continuación, se presenta los análisis geoestadísticos general y de cada uno de los sectores estudiados.

### 4.2.1 General

Con un total de 255 detecciones en los 15 sectores estudiados, quedó en evidencia que los depósitos del área de estudio poseen una mayor concentración de cobre (Cu), hierro (Fe), como era de esperar por la descripción me muestras de mano. Pero también destacan concentraciones de oro (Au) y escasas pero altas concentraciones de tulio (Tl).

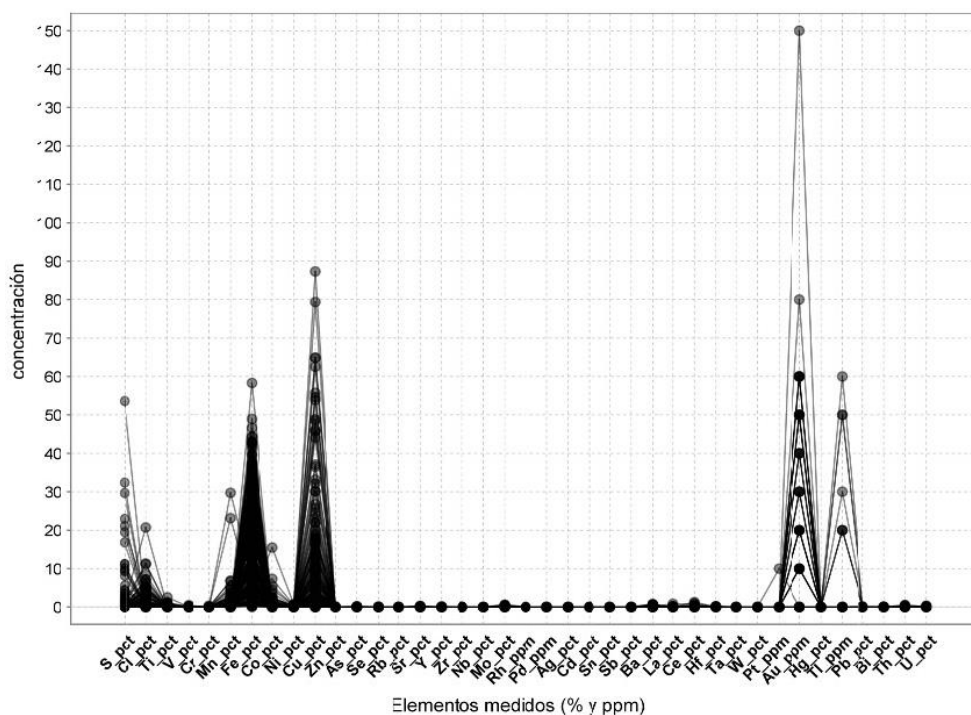


Gráfico 4.1. Gráfico de coordenadas paralelas del área de estudio. Elaboración propia.

Para lograr un mejor entendimiento de que otros elementos se encontraron se trabajó sin los que arrojaron mayores concentraciones. (Azufre (S), cloro (Cl), hierro (Fe), cobre (Cu), oro (Au) y tulio (Tl)).

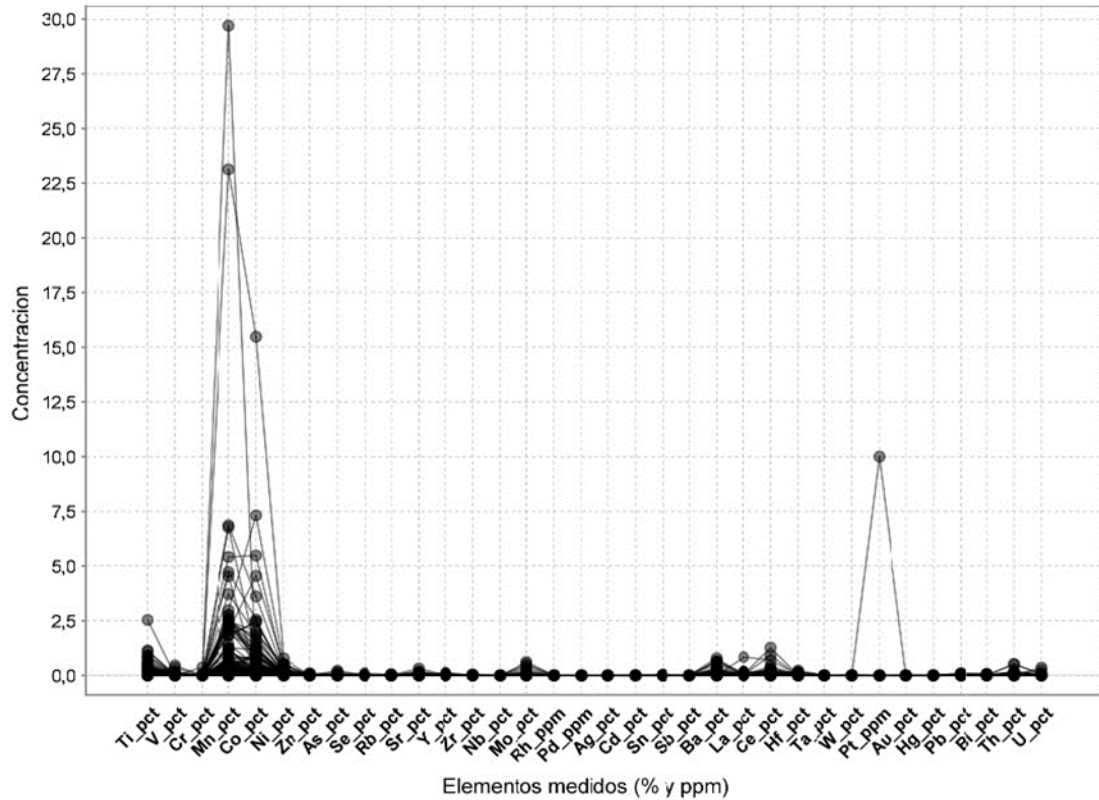


Gráfico 4.2. Gráfico de coordenadas paralelas sin elementos de mayor concentración. Elaboración propia.

De acuerdo al gráfico 4.2. Se observan anomalías de vanadio (V), manganeso (Mn), cobalto (Co), estroncio (Sr), molibdeno (Mo), bario (Ba), lantano (La), cerio (Ce), hafnio (Hf), platino (Pt), torio (Th) y uranio (U).

Para un mejor entendimiento del compartamiento de las leyes se realizaron gráficos de caja y bigote, con los elementos que fueron detectados, los cuales se detallan a continuación.

## 4.2.2 Bario

En el caso del bario fue detectado en 37 mediciones de un total de 255 con los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.006, Q1 (fondo de la caja): 0.0455, Mediana (línea): 0.074, Media (círculo negro): 0.17475675, Q3 (parte superior de la caja): 0.221, Máximo regular (bigote): 0.306, umbral superior de valores atípicos leves: 0.48425, umbral superior de valores atípicos extremos: 0.7475. Y un valor máximo de 0.786. (Gráfico 4.3)

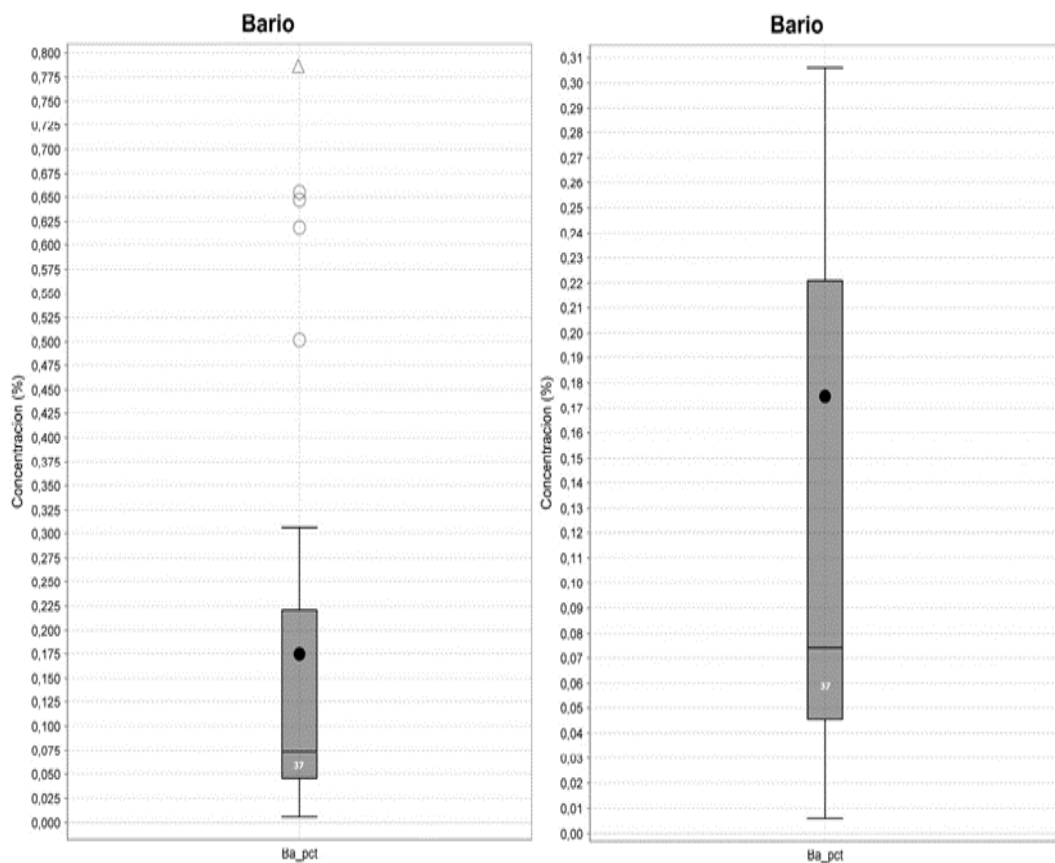


Gráfico 4.3. Gráficos de caja y bigote del elemento bario. Donde la línea representa la mediana, el círculo negro la media, los círculos blancos datos anomalos leves y los triangulos datos anomalos extremos.(Apliquese a todos los graficos de caja y bigote)

### 4.2.3 Cadmio

En el caso del cadmio fue detectado en 53 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.001, Mediana (línea): 0.002, Media (círculo negro): 0.002716981, Q3 (parte superior de la caja): 0.004, Máximo regular (bigotes): 0.008, umbral superior de valores atípicos leves: 0.0085. Y un valor máximo de 0.012 % (Gráfico 4.4)

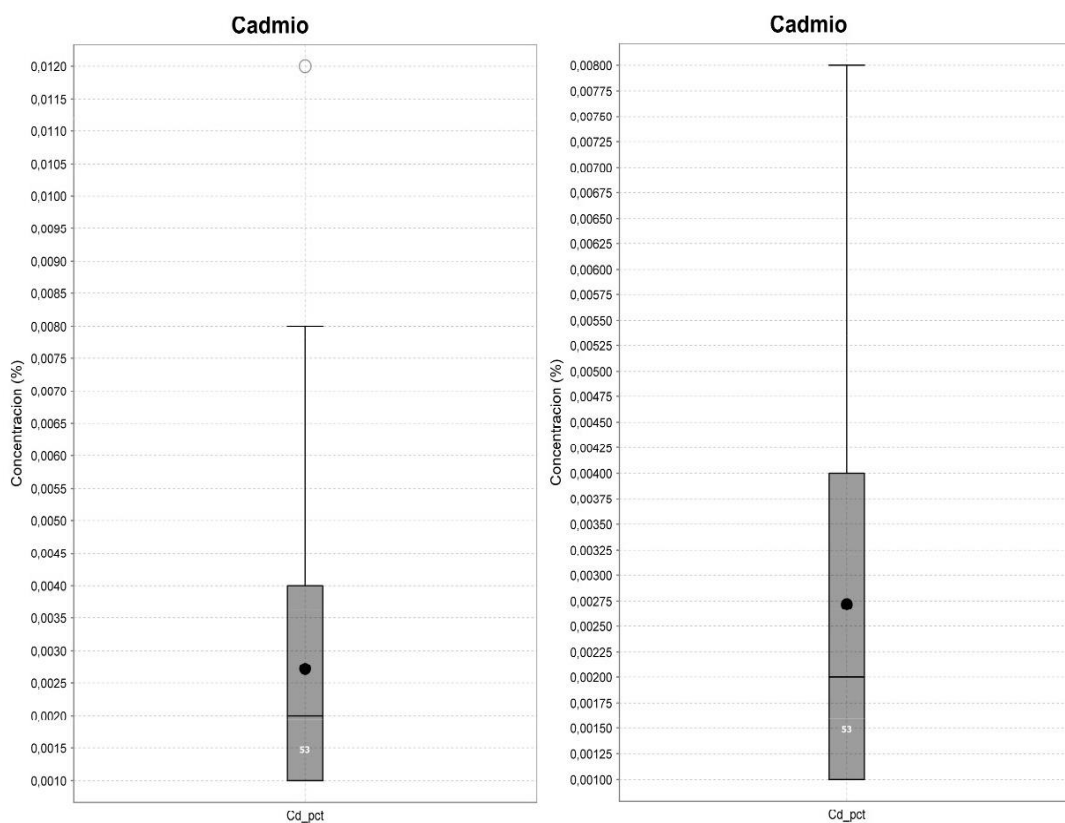


Gráfico 4.4 Gráficos de caja y bigote del elemento cadmio. Elaboración propia.

#### 4.2.4 Cerio

En el caso del cerio se detecto en 16 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.107, Q1 (fondo de la caja): 0.12625 Mediana (línea): 0.208, Media (círculo negro): 0.34425, Q3 (parte superior de la caja): 0.39525, Máximo regular (bigote): 0.712, umbral superior de valores atípicos leves: 0.79875, umbral superior de valores atípicos extremos: 1.20225, y un valor máximo de 1.269% (Gráfico 4.5)

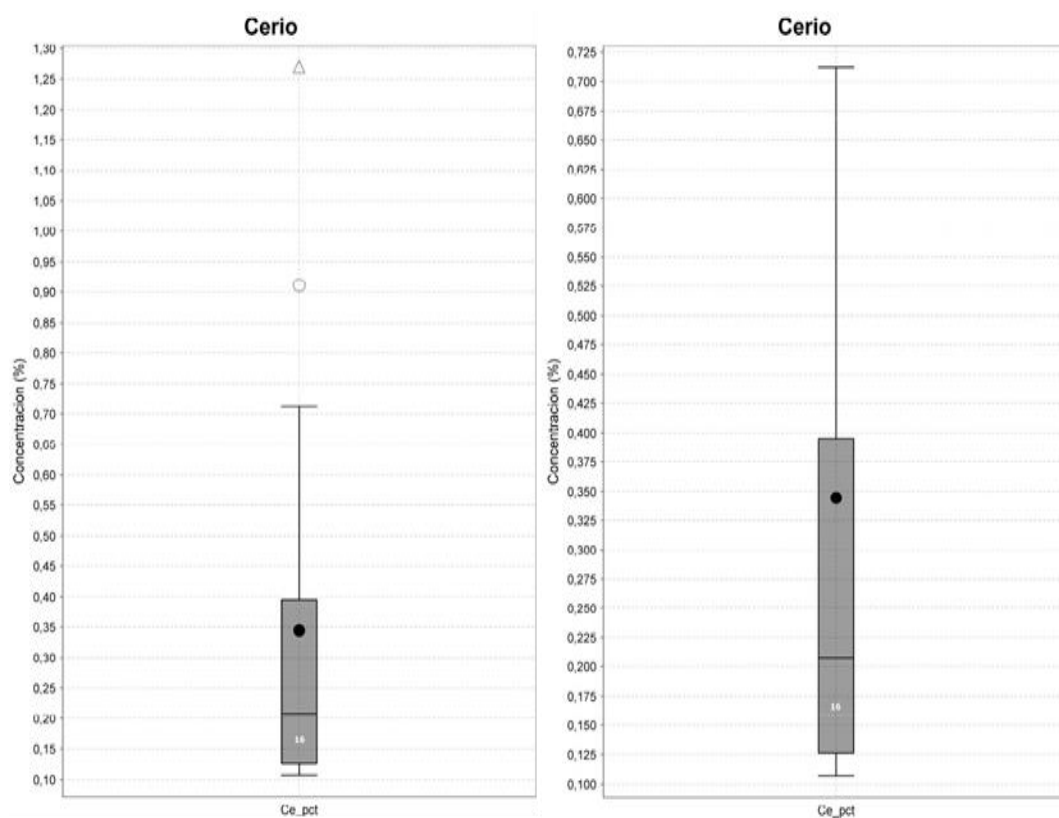


Gráfico 4.5. Gráficos de caja y bigote del elemento cerio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.5 Circonio.

En el caso del circonio se detecto en 179 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.003, Mediana (línea): 0.005, Media (círculo negro): 0.0071675978, Q3 (parte superior de la caja): 0.01, Máximo regular (bigote): 0.02, umbral superior de valores atípicos leves desde 0.0205, umbral superior de valores atípicos extremo: 0.031. y un valor máximo de 0.039 % (Gráfico 4.6)

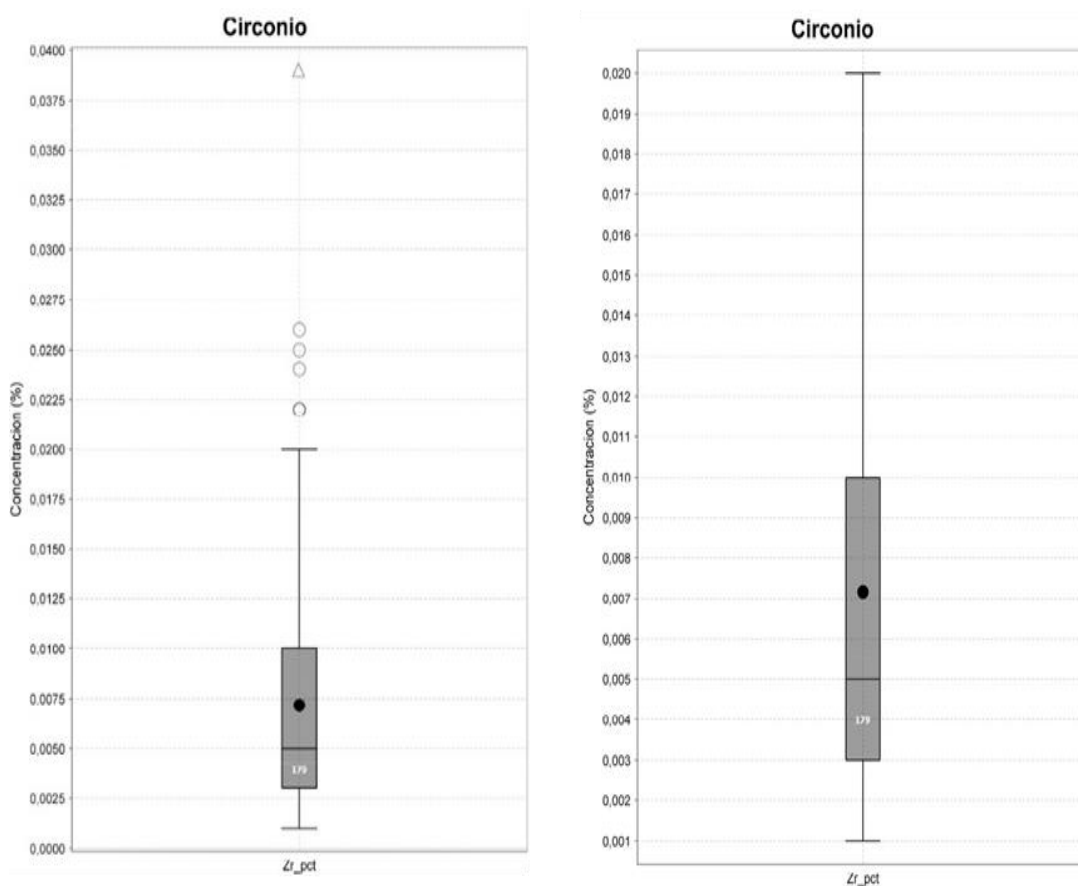


Gráfico 4.6. Gráficos de caja y bigote del elemento circonio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.6 Cobalto.

En el caso del cobalto se detecto en 123 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.002, Q1 (fondo de la caja): 0.052, Mediana (línea): 0.206, Media (círculo negro): 0.7042439, Q3 (parte superior de la caja): 0.606, Máximo regular (bigotes): 1.356, umbral de valores atípicos leves: 1.437, umbral de valores extremos: 2,268. Y un valor máximo de 15.48% (Gráfico 4.7.)

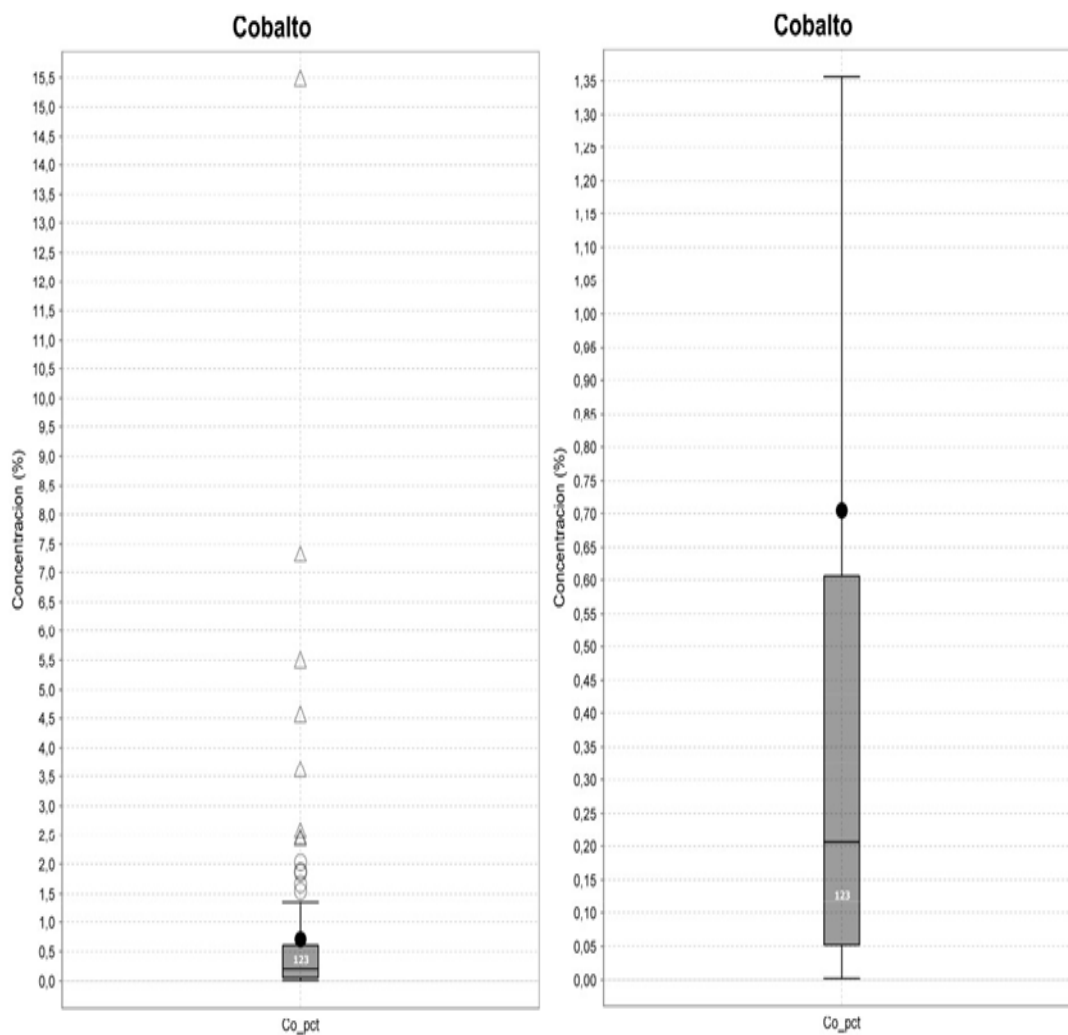


Gráfico 4.7. Gráficos de caja y bigote del elemento cobalto en %. Elaboración propia.

#### 4.2.7 Estaño

En el caso del estaño se detecto en 89 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.003, Mediana (línea): 0.007, Media (círculo negro): 0.008898877, Q3 (parte superior de la caja): 0.013, Máximo regular (bigote): 0.026. (Gráfico 4.8.)

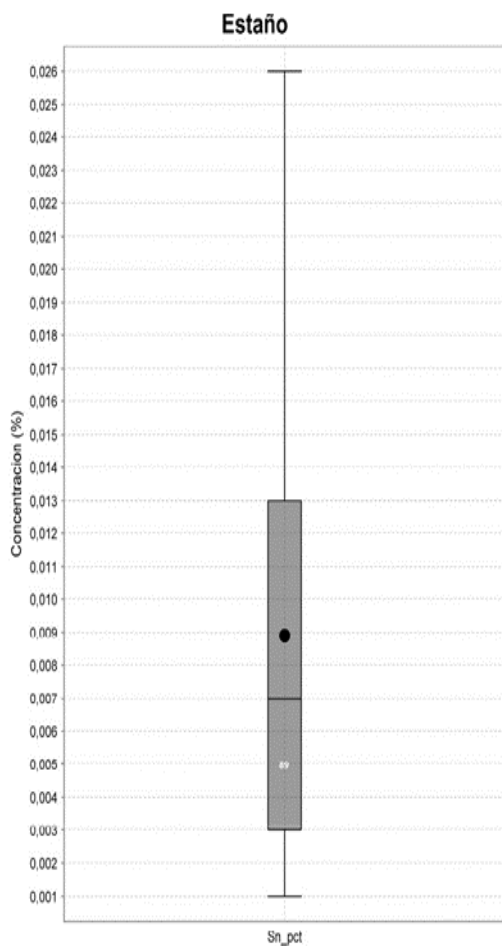


Gráfico 4.8. Gráficos de caja y bigote del elemento estaño en %. Elaboración propia

#### 4.2.8 Hafnio.

En el caso del hafnio se detecto en 71 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.003, Mediana (línea): 0.015, Media (círculo negro): 0.030887324, Q3 (parte superior de la caja): 0.037, Máximo regular (bigotes): 0.086, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.088, Umbral superior de valores atípicos extremos: 0.139. Y un máximo de 0.223 %. (Gráfico 4.9)

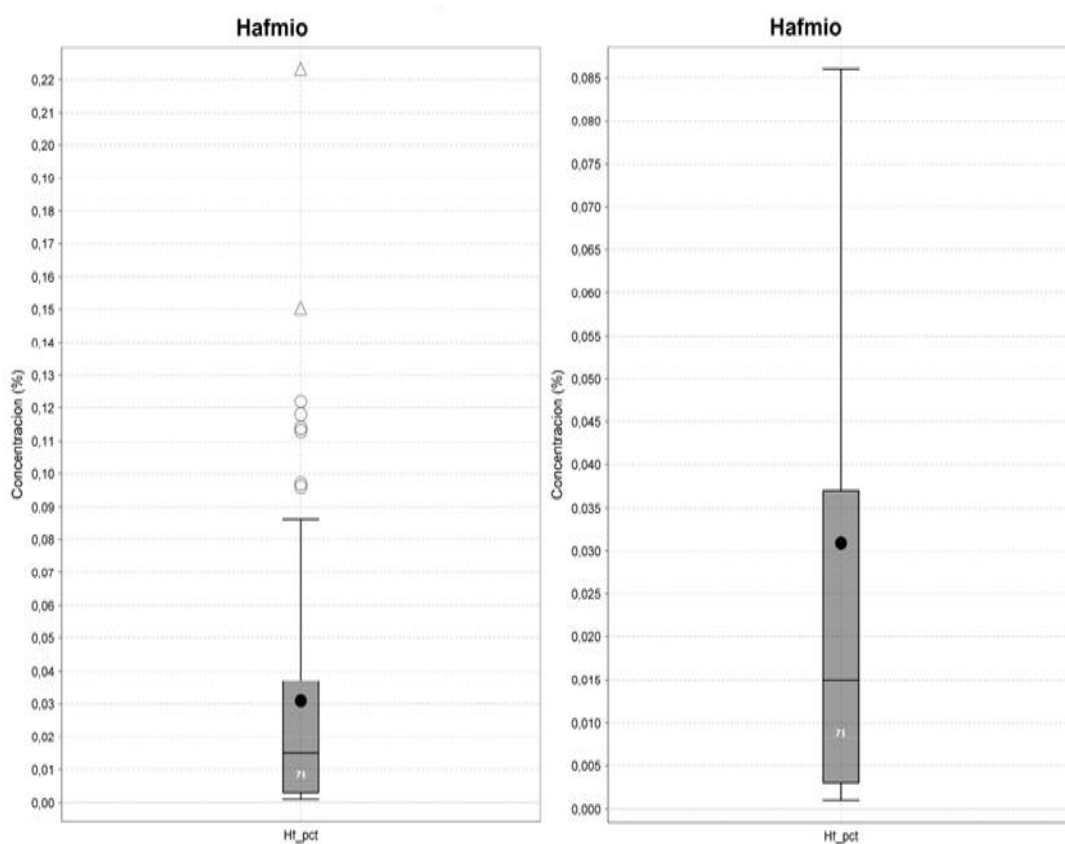


Gráfico 4.9. Gráficos de caja y bigote del elemento hafnio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.9 Itrio.

En el caso del itrio se detectó en 158 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.002, Mediana (línea): 0.003, Media (círculo negro): 0.007721519, Q3 (parte superior de la caja): 0.006, Máximo regular (bigote): 0.012, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.012, Umbral superior de valores atípicos extremos: 0.018. Y un valor máximo 0.127%. (Gráfico 4.10)

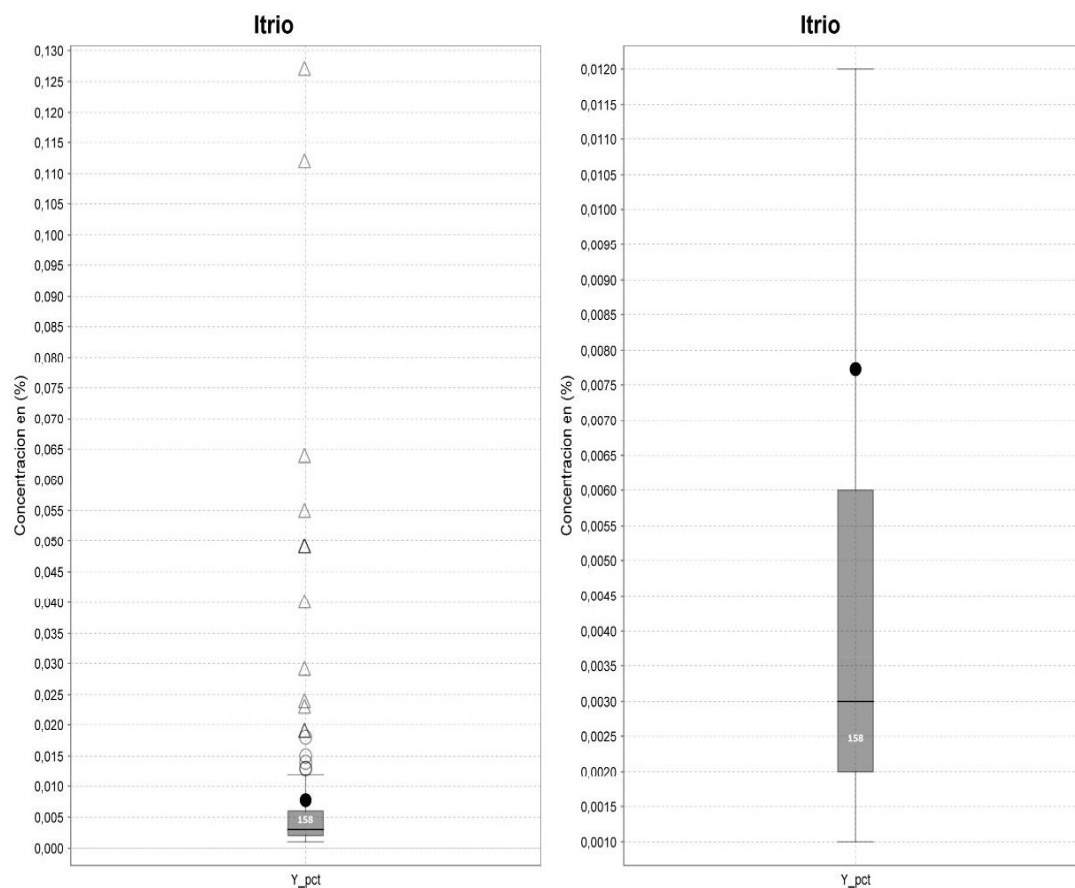


Gráfico 4.10. Gráficos de caja y bigote del elemento hafnio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.10 Lantano.

En el caso del lantano se detecto en 19 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.012, Q1 (fondo de la caja): 0.052, Mediana (línea): 0.072, Media (círculo negro): 0.12552631, Q3 (parte superior de la caja): 0.151, Máximo regular (bigote): 0.187, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.448. Y un máximo de 0.839. (Gráfico 4.11)

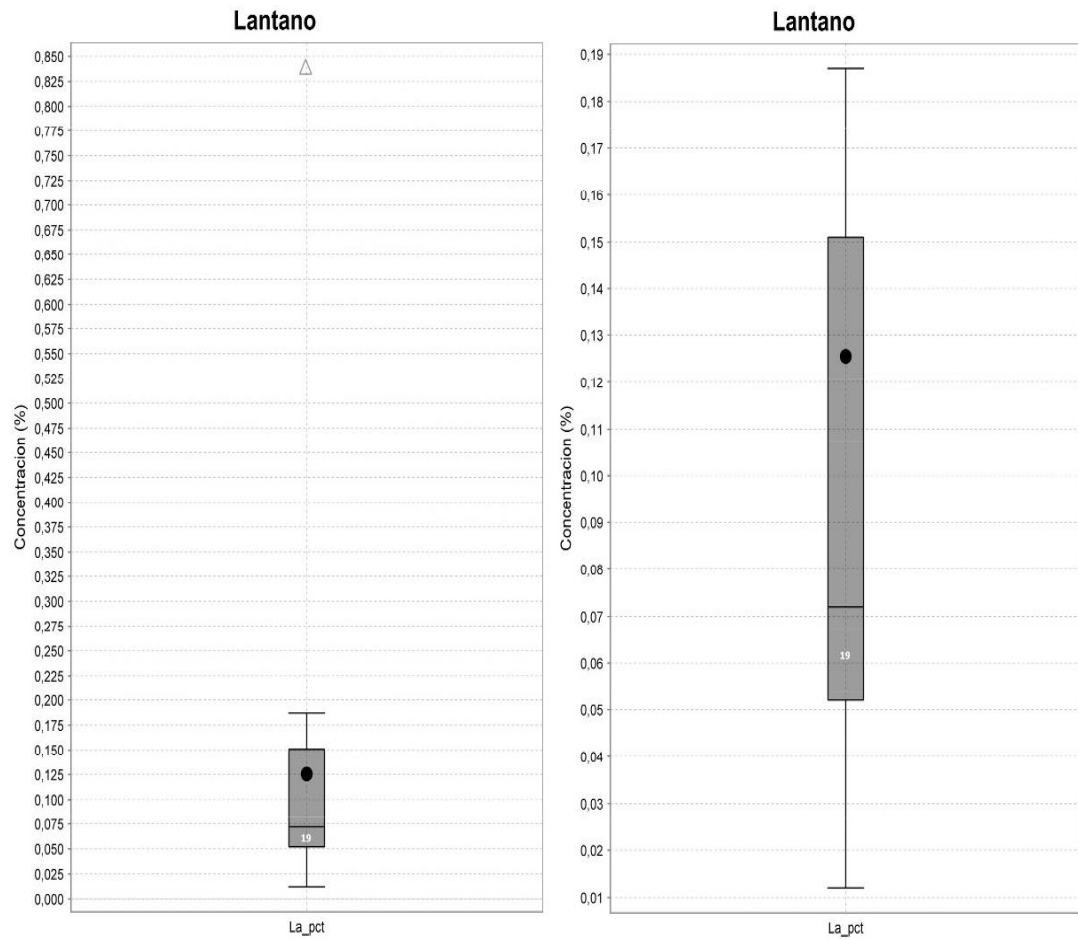


Gráfico 4.11. Gráficos de caja y bigote del elemento lantano en %. Elaboración propia.

#### 4.2.11 Manganeso

En el caso del manganeso se detecto en 248 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.004, Q1 (fondo de la caja): 0.045, Mediana (línea): 0.0855, Media (círculo negro): 0.6715081, Q3 (parte superior de la caja): 0.3, Máximo regular (bigote): 0.682, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.6825, Umbral superior de valores atípicos extremos: 1.065. Y un valor máximo de 29.701 %. (Gráfico 4.12)

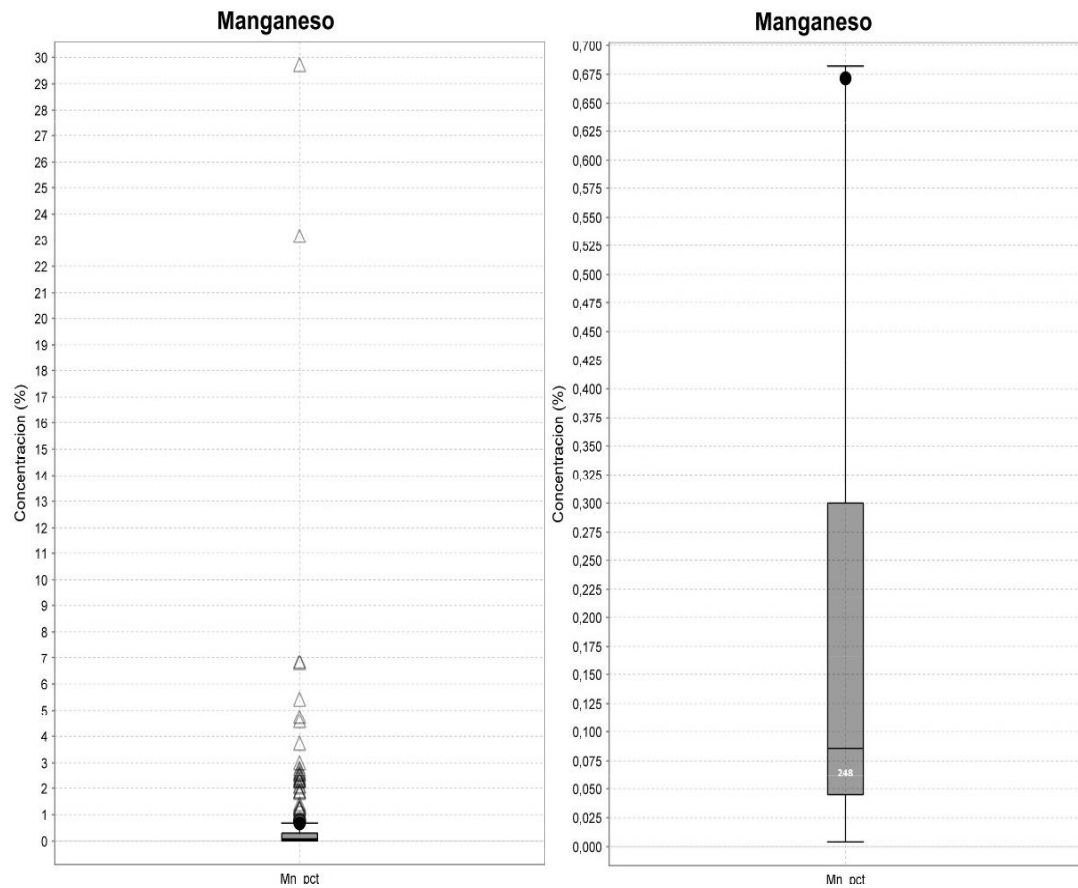


Gráfico 4.12. Gráficos de caja y bigote del elemento manganeso en %. Elaboración propia.

#### 4.2.12 Molibdeno

En el caso del molibdeno se detecto en 163 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.003, Mediana (línea): 0.007, Media (círculo negro): 0.030785276, Q3 (parte superior de la caja): 0.024, Máximo regular (bigote): 0.055, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.0555, Umbral superior de valores atípicos extremos: 0.087. Y un máximo de 0.613. (Gráfico 4.13)

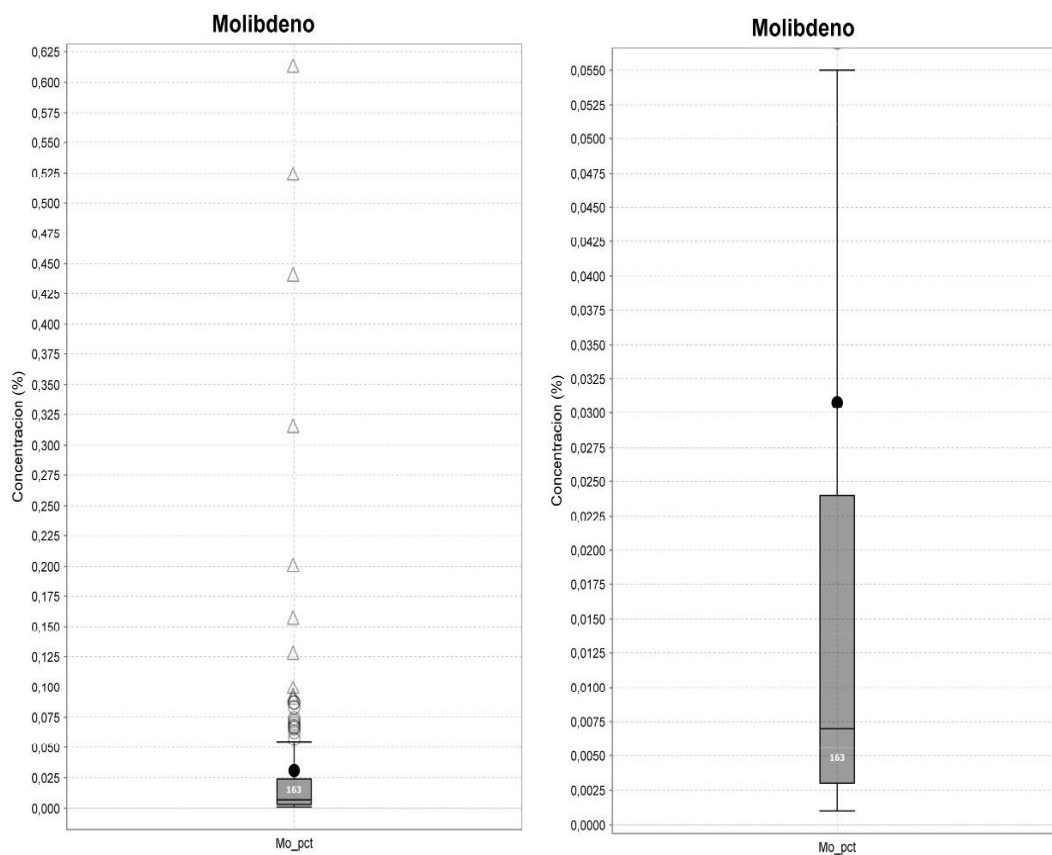


Gráfico 4.13. Gráficos de caja y bigote del elemento molibdeno en %. Elaboración propia.

### 4.2.13 Niobio

En el caso del niobio se detecto en 5 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.001, Mediana (línea): 0.002, Media (círculo negro): 0.0018, Q3 (parte superior de la caja): 0.0025, Máximo regular (bigotes): 0.003 (Gráfico 4.14)

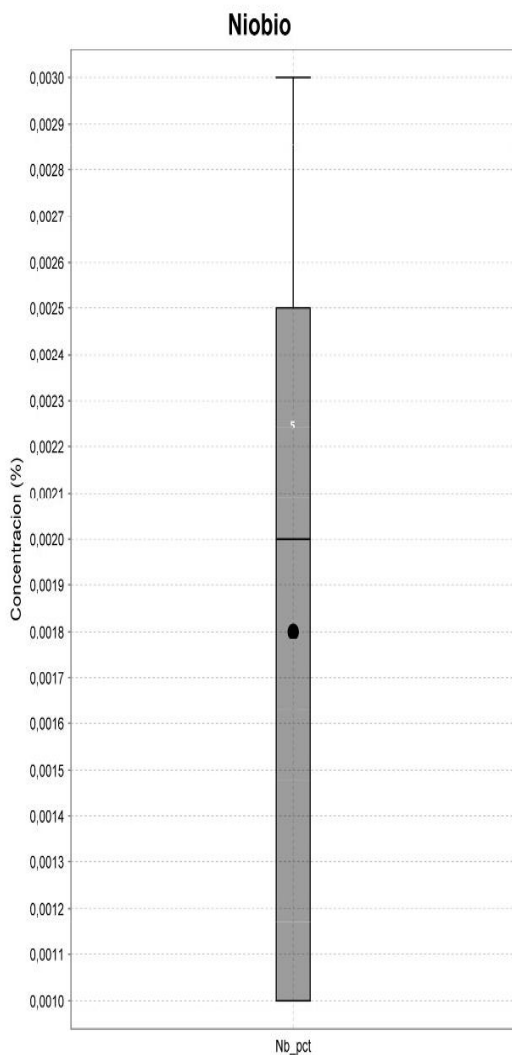


Gráfico 4.14. Gráfico de caja y bigote del elemento niobio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.14 Oro

En el caso del oro se detecto en 40 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 10.0, Q1 (fondo de la caja): 20.0, Mediana (línea): 40.0, Media (círculo negro): 38.5, Q3 (parte superior de la caja): 50.0, Máximo regular (bigote): 80.0, Umbral superior de valores atípicos extremo: 140.0 ppm. Y un valor máximo de 150 ppm. (Gráfico 4.15)

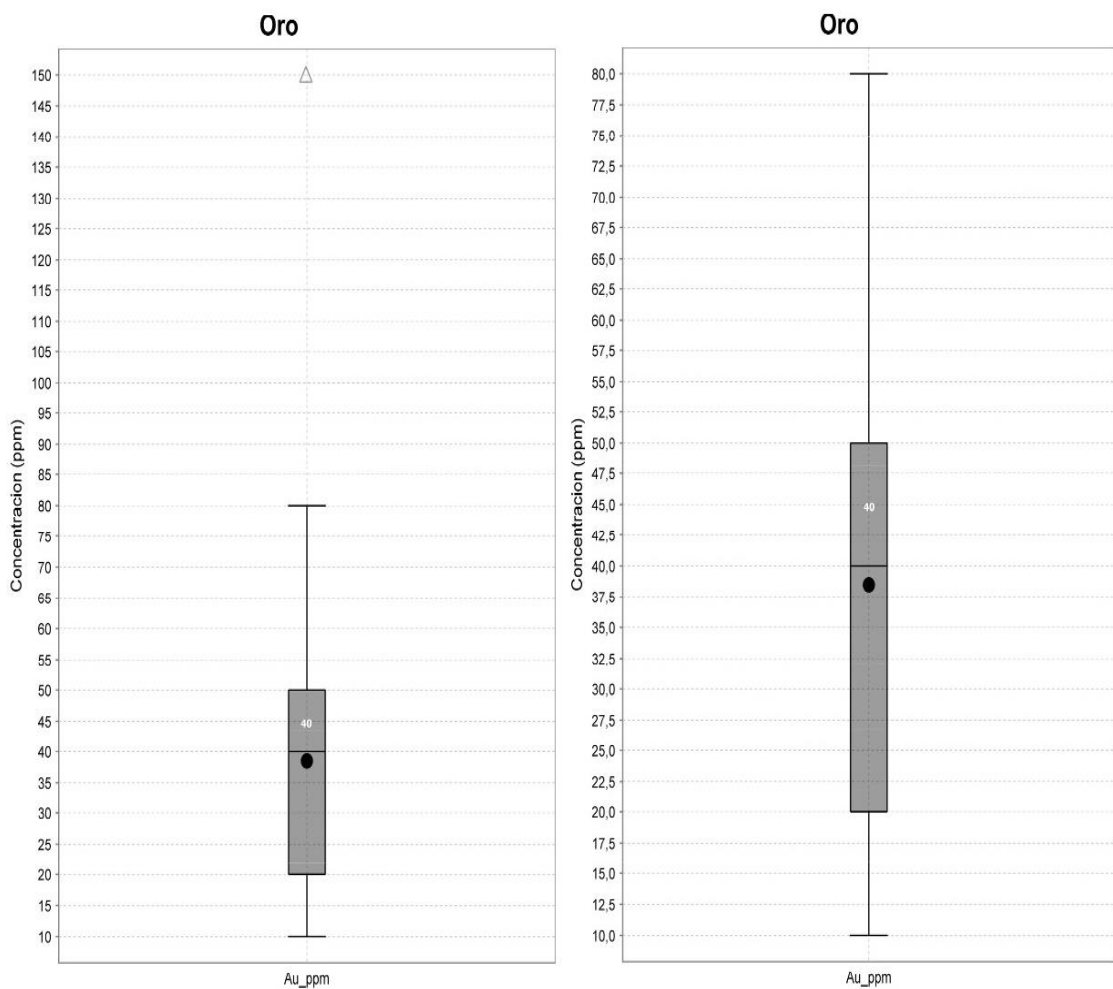


Gráfico 4.15. Gráficos de caja y bigote del elemento oro en ppm. Elaboración propia.

#### 4.2.15 Plata

En el caso del plata se detecto en 8 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.001, Mediana (línea): 0.002, Media (círculo negro): 0.00225, Q3 (parte superior de la caja): 0.0035, Máximo regular (bigote): 0.005. (Gráfico 4.16)

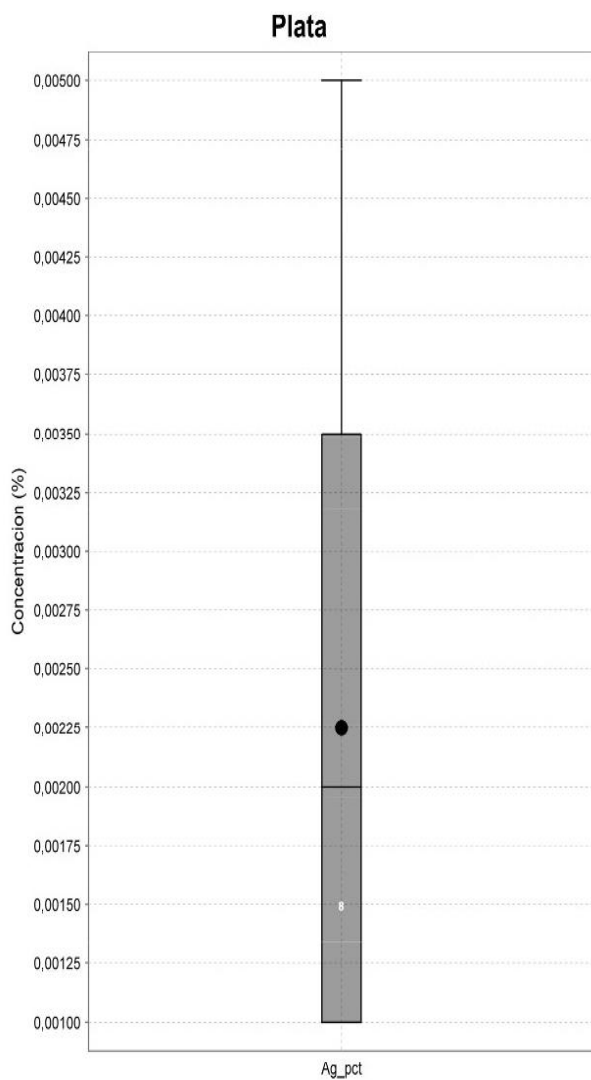


Gráfico 4.16. Gráfico de caja y bigote del elemento plata en %. Elaboración propia.

#### 4.2.16 Platino

En el caso del platino se detecto en 1 ocasión de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 10.0, Q1 (fondo de la caja): 10.0, Mediana (línea): 10.0, Media (círculo negro): 10.0, Q3 (parte superior de la caja): 10.0, Máximo regular (bigote): 10.0 ppm. (Gráfico 4.17)

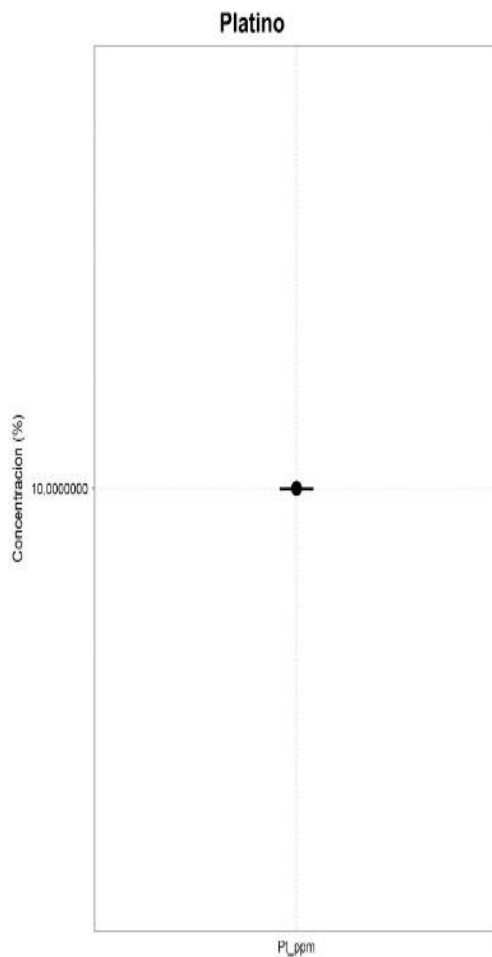


Gráfico 4.17. Gráfico de caja y bigote del elemento platino en ppm. Elaboración propia.

#### 4.2.17 Plomo

En el caso del plomo se detecto en 138 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.002, Q1 (fondo de la caja): 0.009, Mediana (línea): 0.024, Media (círculo negro): 0.027297102, Q3 (parte superior de la caja): 0.043, Máximo regular (bigotes): 0.086 %. (Gráfico 4.18)

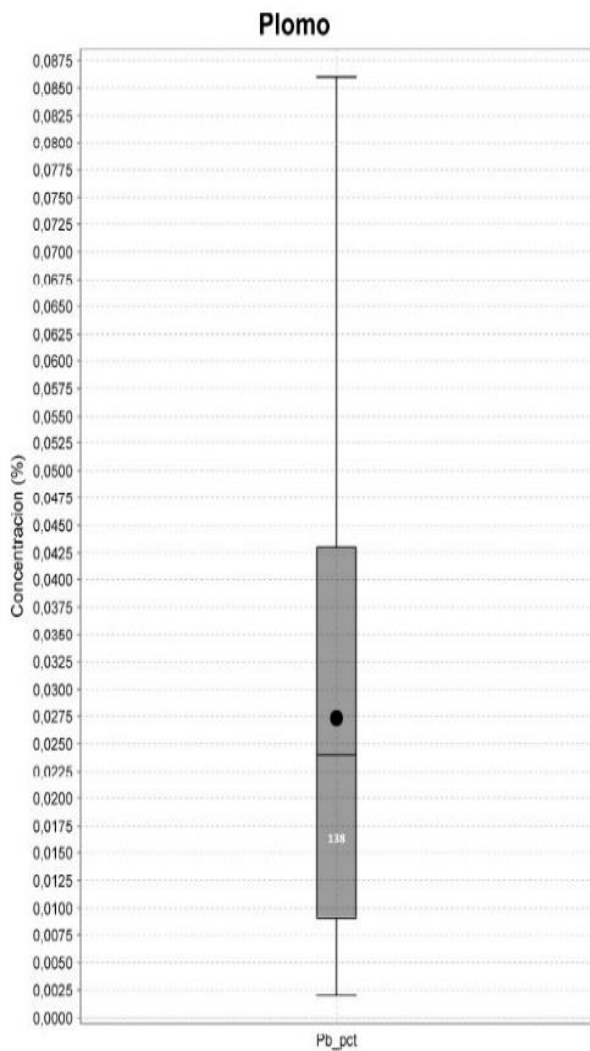


Gráfico 4.18. Gráfico de caja y bigote del elemento plomo en %. Elaboración propia.

#### 4.2.18 Rubidio

En el caso del plomo se detectó en 198 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.003, Mediana (línea): 0.006, Media (círculo negro): 0.007459596, Q3 (parte superior de la caja): 0.01025, Máximo regular (bigote): 0.02, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.021125, Umbral superior de valores atípicos extremos: 0.032. Y un valor máximo: 0.057 %. (Gráfico 4.19)

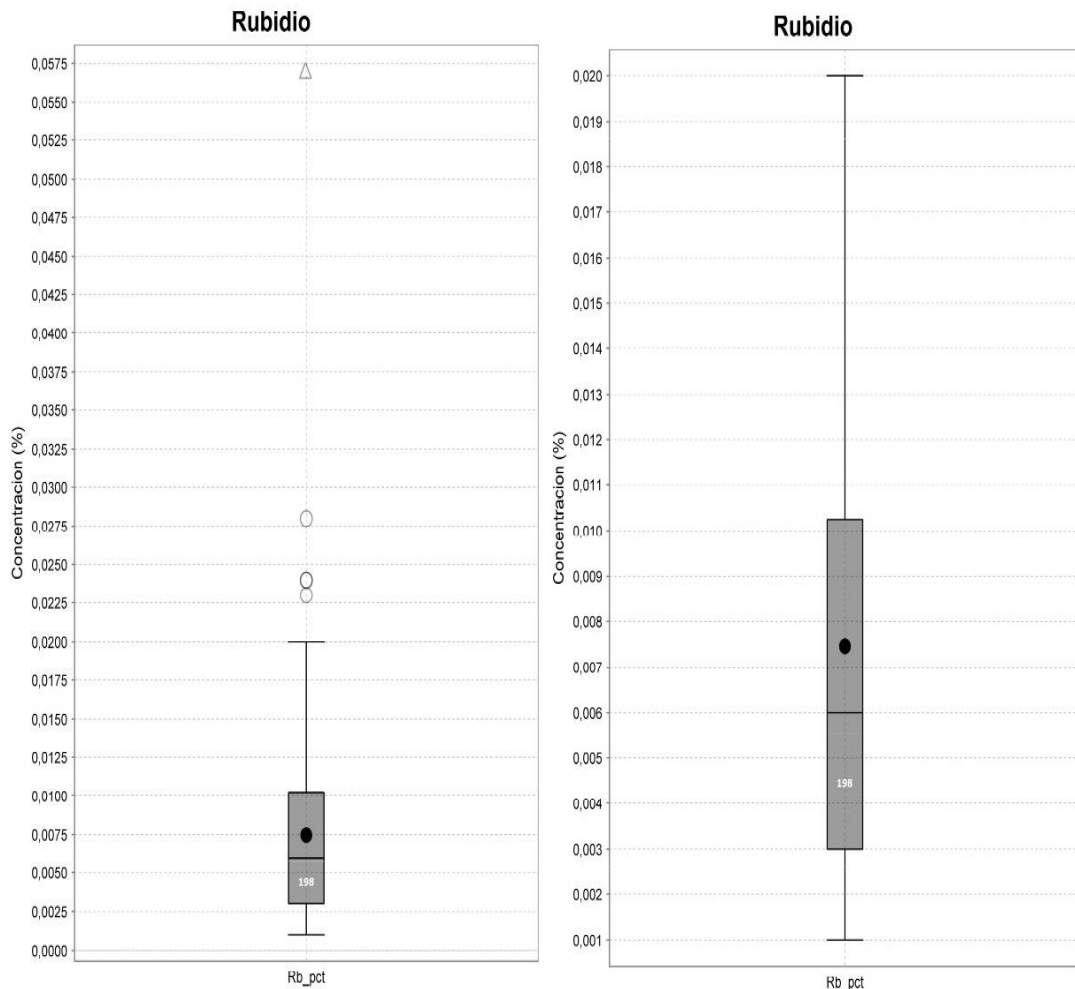


Gráfico 4.19. Gráficos de caja y bigote del elemento rubidio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.19 Estroncio

En el caso del plomo se detecto en 165 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.004, Mediana (línea): 0.011, Media (círculo negro): 0.02281212, Q3 (parte superior de la caja): 0.031, Máximo regular (bigote): 0.069, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.0715, Umbral superior de valores atípicos extremos: 0.112. Y un valor máximo: 0.32 %. (Gráfico 4.20)

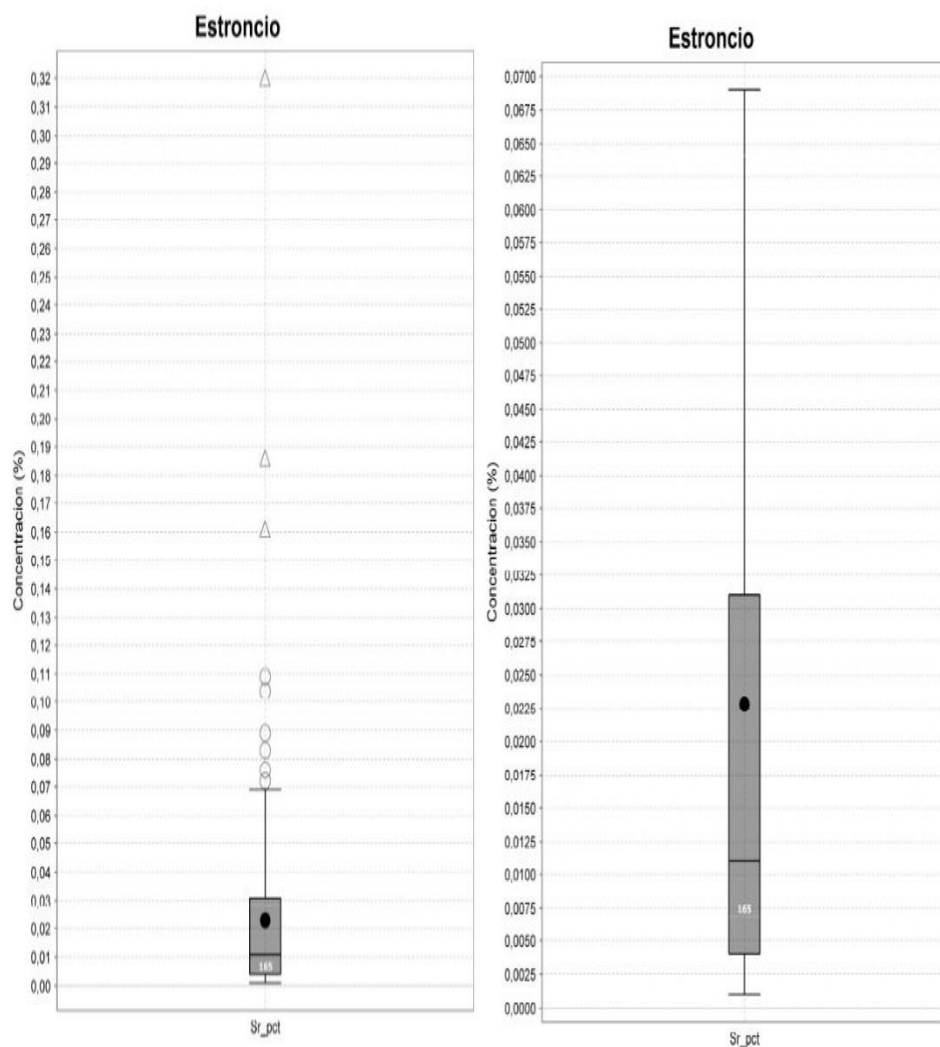


Gráfico 4.20. Gráficos de caja y bigote del elemento estroncio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.20 Tántalo

En el caso del tantalo se detecto en 18 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.001, Mediana (línea): 0.001, Media (círculo negro): 0.0017222222, Q3 (parte superior de la caja): 0.00225, Máximo regular (bigotes): 0.003, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.004125. Y un valor máximo: 0.005 %. (Gráfico 4.21)

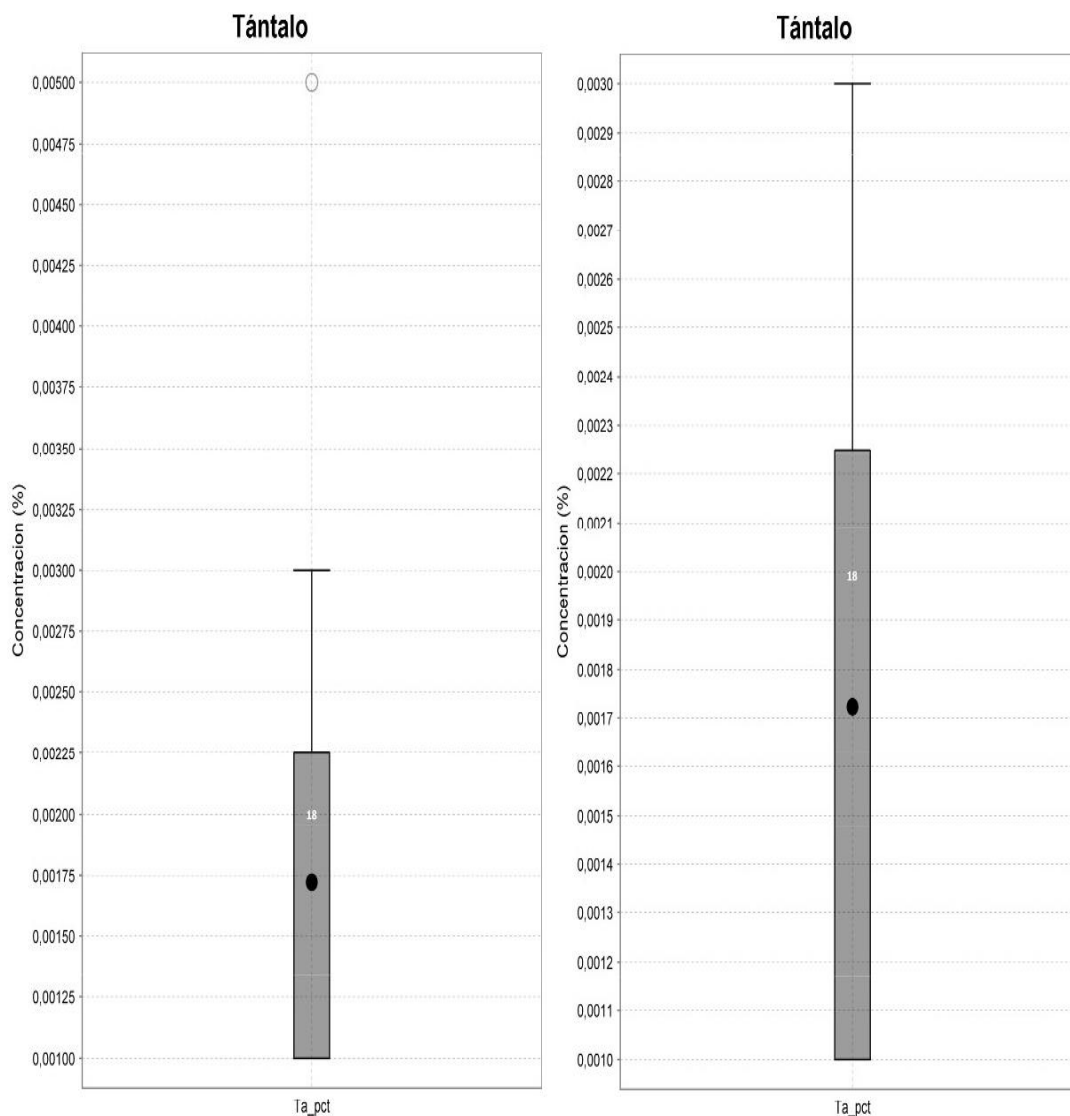


Gráfico 4.21. Gráficos de caja y bigote del elemento tántalo en %. Elaboración propia.

#### 4.2.21 Torio

En el caso del torio se detecto en 61 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.0095, Mediana (línea): 0.019, Media (círculo negro): 0.05790164, Q3 (parte superior de la caja): 0.075, Máximo regular (bigote): 0.156, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.17325, Umbral superior de valores atípicos extremos: 0.2715. Y un valor máximo: 0.52 %. (Gráfico 4.22)

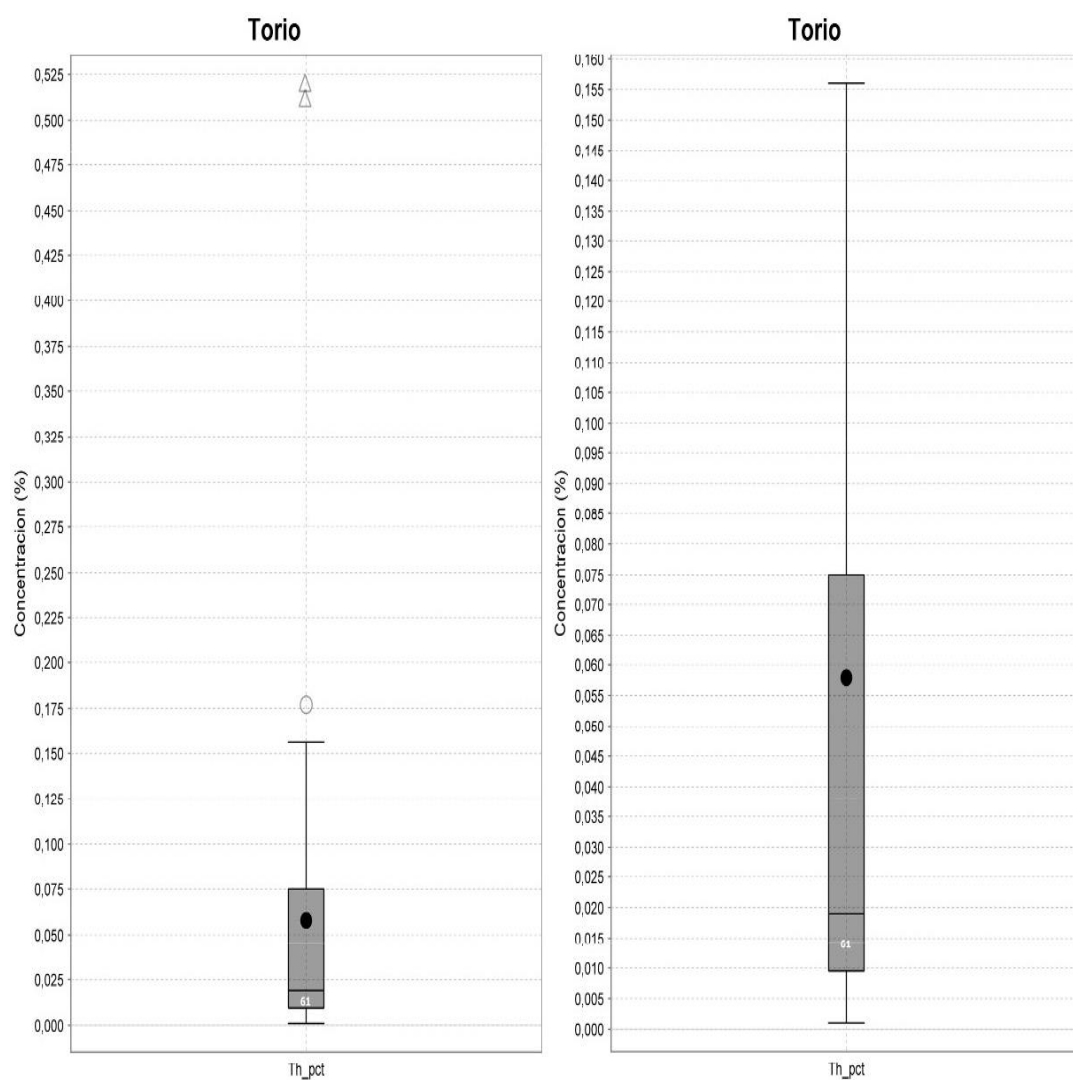


Gráfico 4.22. Gráficos de caja y bigote del elemento torio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.22 Uranio

En el caso del uranio se detecto en 25 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.0025, Mediana (línea): 0.01, Media (círculo negro): 0.04184, Q3 (parte superior de la caja): 0.039, Máximo regular (bigotes): 0.086, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.1485. Y un valor máximo: 0.358%. (Gráfico 4.23)

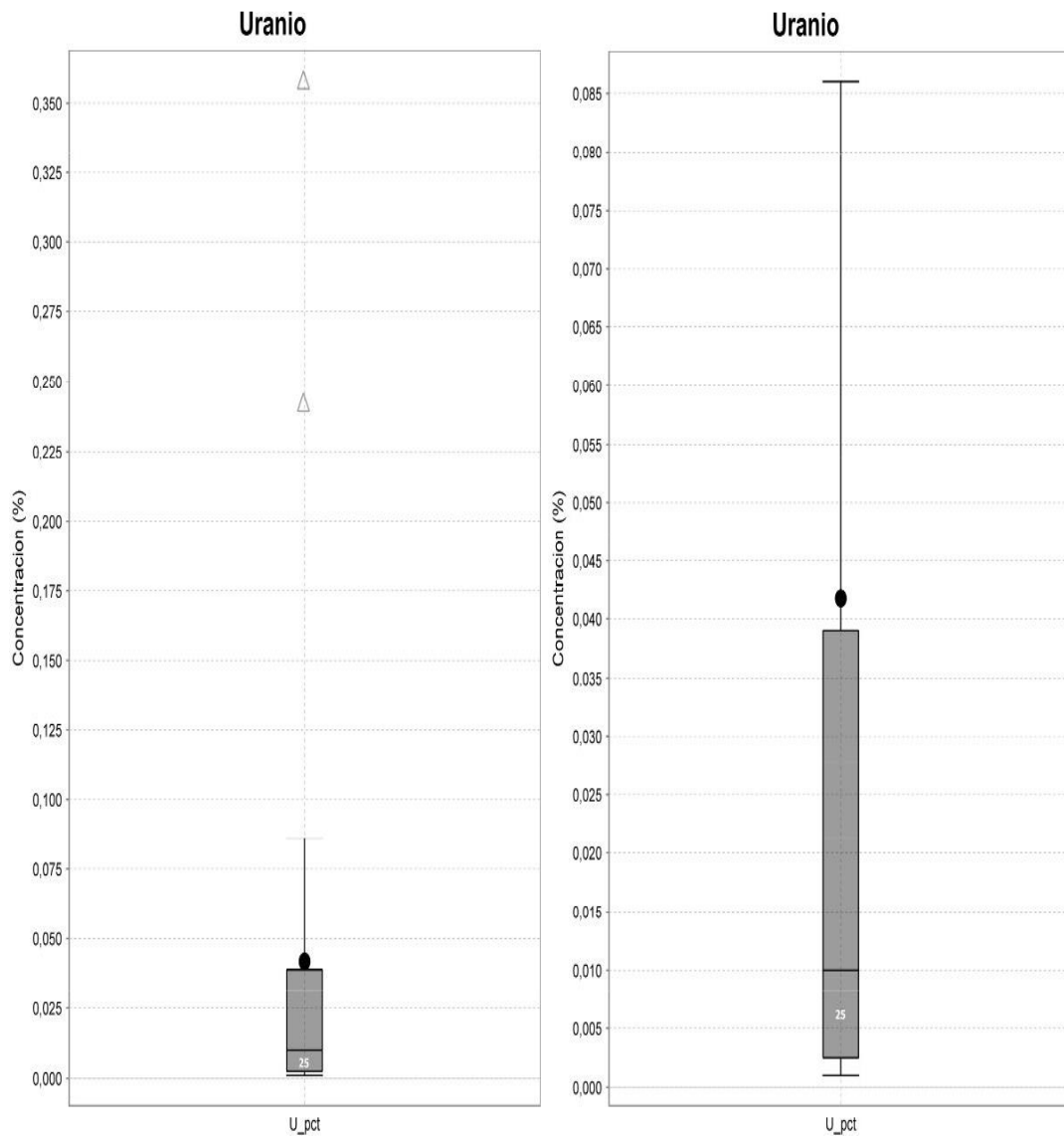


Gráfico 4.23. Gráficos de caja y bigote del elemento uranio en %. Elaboración propia.

### 4.2.23 Vanadio

En el caso del vanadio se detecto en 176 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.008, Mediana (línea): 0.015, Media (círculo negro): 0.029102273, Q3 (parte superior de la caja): 0.032, Máximo regular (bigote): 0.067, Umbral superior de valores atípicos leves: 0.068, Umbral superior de valores atípicos extremos: 0.104. Y un valor máximo: 0.458%. (Gráfico 4.24)

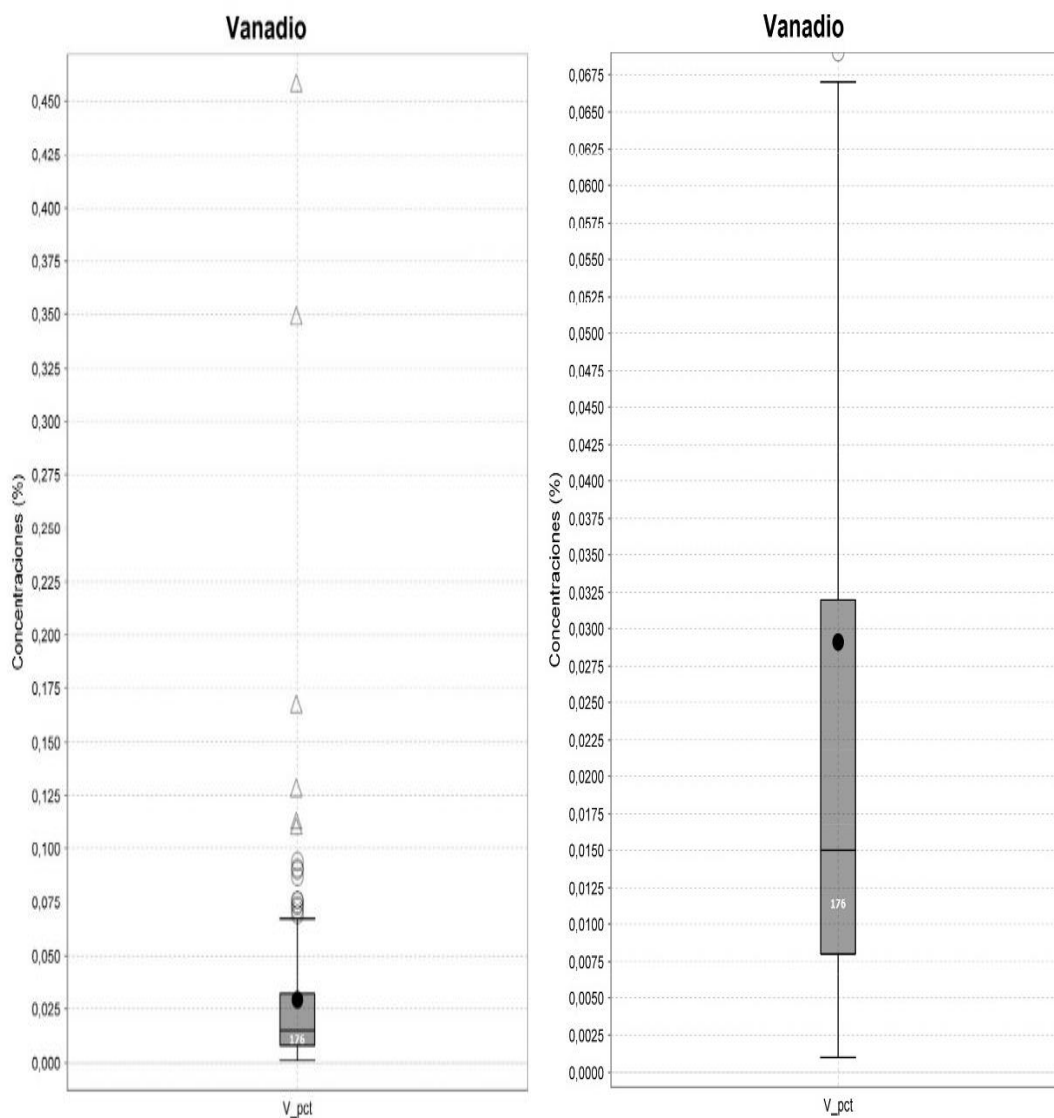


Gráfico 4.24. Gráficos de caja y bigote del elemento vanadio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.24 Wolframio

En el caso del vanadio se detecto en 27 ocasiones de un total de 255. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores: Min Regular (whisker): 0.001, Q1 (fondo de la caja): 0.001, Mediana (línea): 0.003, Media (círculo negro): 0.005074074, Q3 (parte superior de la caja): 0.007, Máximo regular (bigotes): 0.016. (Gráfico 4.25)

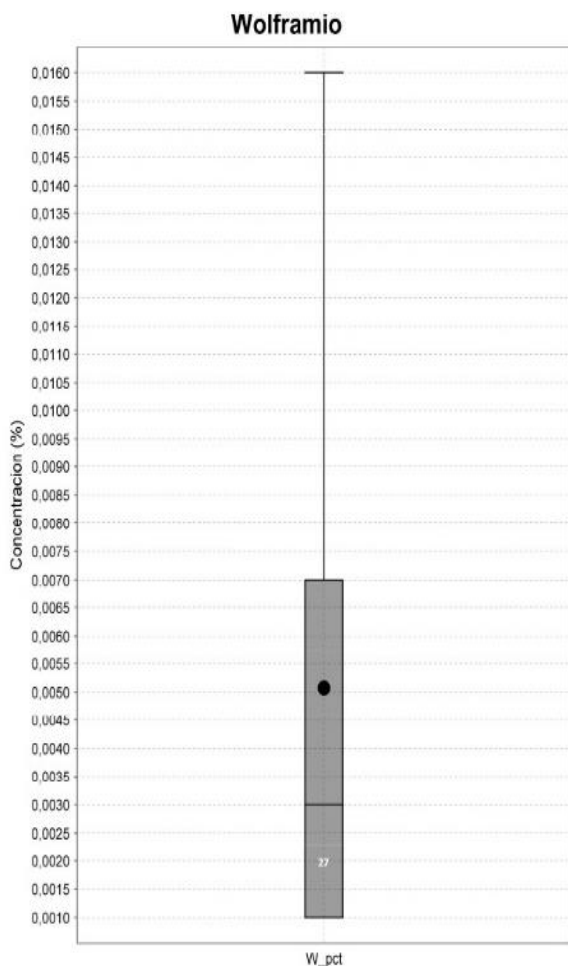


Gráfico 4.25. Gráfico de caja y bigote del elemento wolframio en %. Elaboración propia.

#### 4.2.25 Resumen

De acuerdo a los datos arrojados por los graficos de caja y bigote se puede resumir en la siguientes tablas

Tabla N°7. Parte 1 Resumen de datos de elementos detectados por fluorescencia de rayos X

Elemento	Ba	Cd	Ce	Zr	Co	Sn	Hf	Y	La	Mn	Mo	Nb
Min R	0.006	0.001	0.107	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.012	0.004	0.001	0.001
Q1	0.0455	0.001	0.126	0.003	0.052	0.003	0.003	0.002	0.052	0.045	0.003	0.001
Media	0.074	0.002	0.208	0.005	0.206	0.007	0.015	0.003	0.072	0.086	0.007	0.002
Media	0.175	0.003	0.344	0.007	0.704	0.009	0.031	0.008	0.126	0.672	0.030	0.002
Q3	0.221	0.004	0.395	0.001	0.606	0.013	0.037	0.006	0.151	0.3	0.024	0.003
Max R	0.306	0.008	0.712	0.002	1.356	0.026	0.086	0.012	0.187	0.682	0.055	0.003

Tabla N°8. Parte 2 Resumen de datos de elementos detectados por fluorescencia de rayos X

Elemento	Au	Ag	Pt	Pb	Rb	Sr	Ta	Th	U	V	W
Min R	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Q1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	2	1	1	9	3	4	1	0	3	8	1
Media	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
	4	2	1	4	6	1	1	9		5	3
Media	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.05	0.04	0.02	0.00
	4	2	1	7	7	3	2	8	2	9	5
Q3	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.03	0.00	0.07	0.03	0.03	0.00
	5	4	1	3	0	1	2	5	9	2	7
Max R	0.00	0.00	0.00	0.08	0.02	0.06	0.00	0.12	0.08	0.06	0.01
	8	5	1	6		9	3	6	6	7	6

#### 4.3 Correlación de elementos

Se realizó una matriz de correlación de Spearman, donde en la Figura 4-23 de color verde oscuro están los valores de Rho mayores a 0.8 los cuales representan una muy buena correlación, en verde claro valores entre 0.8 y 0.5 los cuales representan una buena correlación, en amarillo entre 0.5 y 0 los que representan una moderadamente buena correlación, en naranja entre 0 y -0.5 los que representan una moderadamente mala correlación, en rojo entre -0.5 y -0.8 los que representan una mala correlación y en café los menores a -0.8 los que representan una muy mala correlación. Por lo tanto, destacan la muy buena relación del hierro con el plomo y bismuto, la del bismuto y el plomo. Una buena relación entre manganeso y cobalto, cobalto y níquel, níquel cobre, cobre torio, rubidio con plomo y bismuto, estroncio y circonio.



Comparación de elementos por sector estudiado, mediante gráficos de caja y bigote. Donde se eliminaron algunos valores atípicos y los valores cero, para una mejor visualización.

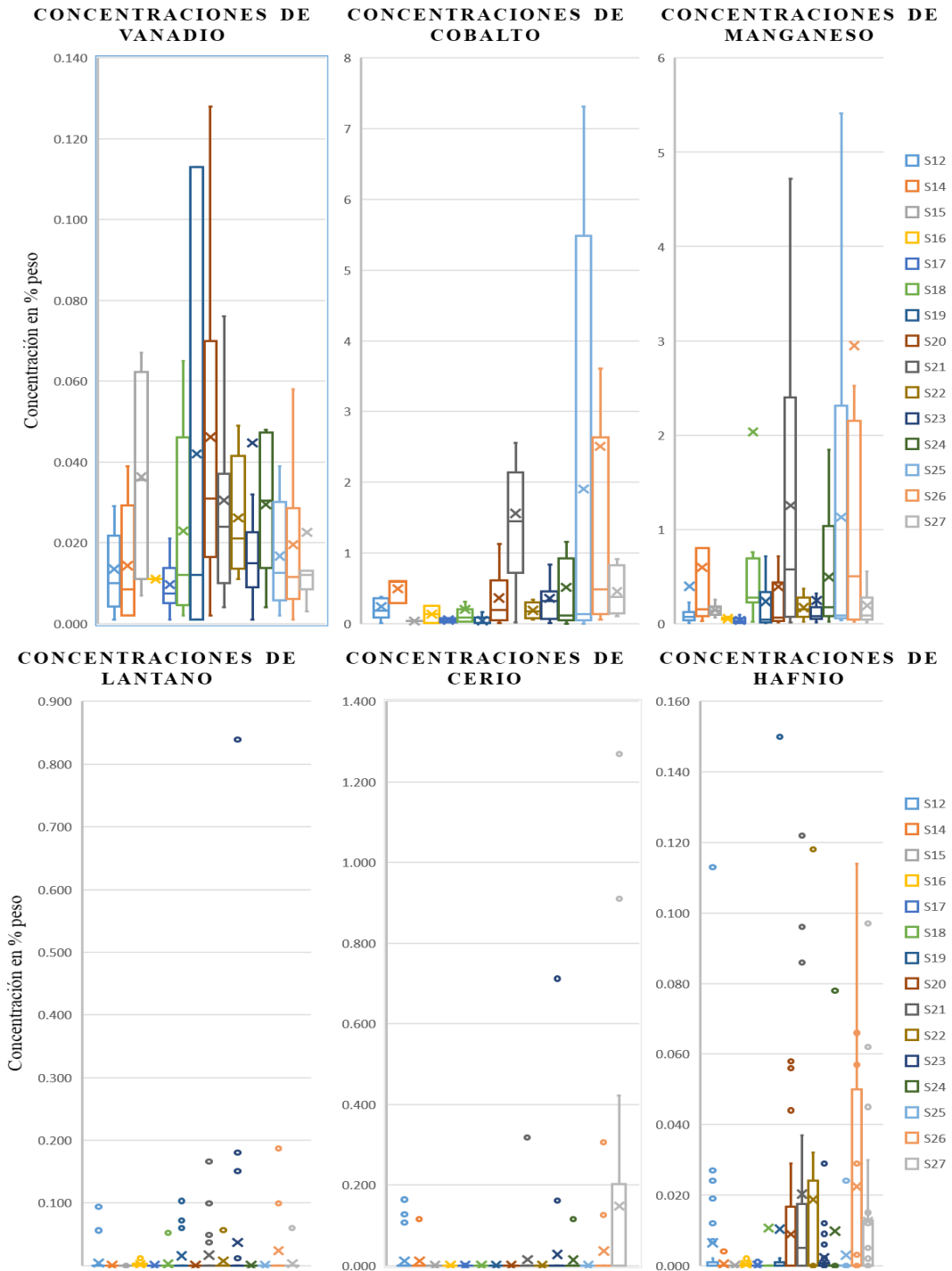


Gráfico 4.26. Gráficos de caja y bigote por sectores estudiados. Ilustrando concentraciones de elementos de interés en % peso. Elaboración propia.

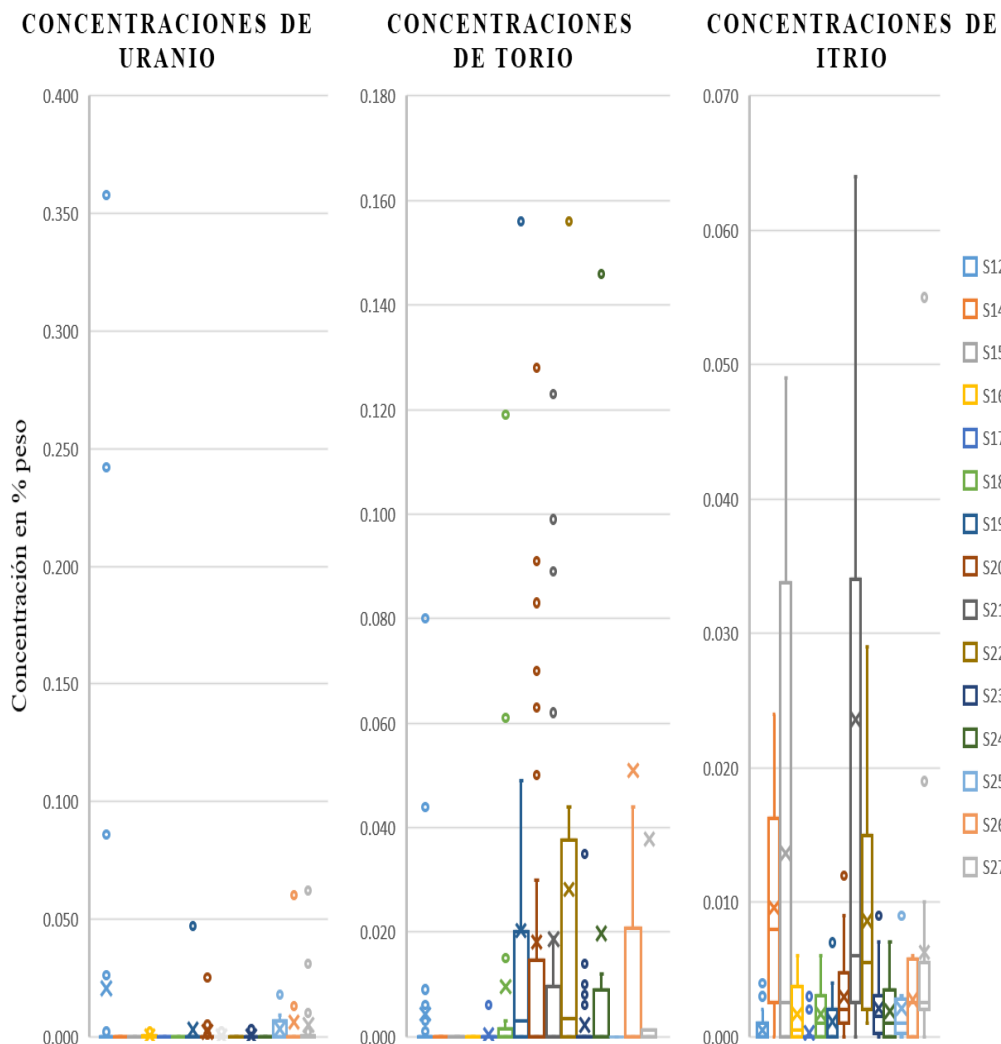


Gráfico 4.27. Gráficos de caja y bigote por sectores estudiados. Ilustrando concentraciones de elementos de interés en % peso. Elaboración propia.

Las tablas a continuación presentan los valores exactos por elemento en cada porción de los gráficos de caja y bigote (Boxplot) de los gráficos 4.26 y 4.27. Estos valores se encuentran en % peso.

Tabla N°9. Concentración de vanadio en cada sector estudiado. Donde A.R es el número de análisis hechos, N. Det es el número de detecciones, Min R el mínimo regular, Q1 es el primer cuartil, Q3 el tercer cuartil, Max R el máximo regular.

Aplíquese a las siguientes las mismas nomenclaturas

	Concentraciones de vanadio														
	S12	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27
A. R	35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22
N.Det	24	6	4	1	12	12	3	29	19	5	29	6	6	12	8
Min R	0.001	0.002	0.007	0.011	0.001	0.002	0.001	0.002	0.004	0.011	0.001	0.004	0.002	0.001	0.003
Q1	0.004	0.002	0.011	0.011	0.005	0.005	0.001	0.017	0.001	0.014	0.009	0.014	0.006	0.006	0.009
Mediana	0.001	0.008	0.036	0.011	0.008	0.012	0.012	0.031	0.024	0.021	0.015	0.031	0.013	0.012	0.012
Media	0.013	0.014	0.036	0.011	0.001	0.023	0.042	0.046	0.031	0.026	0.045	0.003	0.017	0.002	0.026
Q3	0.021	0.029	0.062	0.011	0.014	0.046	0.013	0.007	0.037	0.046	0.023	0.047	0.003	0.029	0.013
Max R	0.029	0.039	0.061	0.011	0.021	0.065	0.013	0.028	0.076	0.049	0.032	0.048	0.039	0.058	0.013
Valor Max	0.051	0.039	0.067	0.011	0.027	0.065	0.013	0.067	0.090	0.049	0.058	0.048	0.039	0.058	0.010

Tabla N°10. Concentración de cobalto en cada sector estudiado.

	Concentraciones de cobalto														
	S12	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27
A. R	35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22
N.Det	16	3	2	2	2	10	5	15	14	4	20	7	6	9	8
Min R	0.008	0.284	0.033	0.001	0.019	0.023	0.005	0.004	0.016	0.051	0.002	0.038	0.045	0.005	0.002
Q1	0.081	0.284	0.033	0.001	0.019	0.025	0.005	0.044	0.013	0.078	0.063	0.064	0.049	0.028	0.047
Media	0.185	0.589	0.034	0.031	0.049	0.088	0.007	0.093	0.049	0.075	0.019	0.032	0.012	0.079	0.078

Media	0.0 23	0.4 91	0.0 34	0.1 31	0.0 49	0.1 99	0.0 34	0.3 6	1.5 57	0.1 85	0.3 58	0.5 86	2.2 2	2.5 06	0.4 55
Q3	0.3 58	0.6 04	0.0 34	0.2 51	0.0 79	0.1 97	0.0 89	0.6 06	2.1 36	0.3 03	0.4 57	1.1 59	5.9 41	2.6 36	0.8 22
Max R	0.3 72	0.6 04	0.0 34	0.2 51	0.0 79	0.3 06	0.1 57	1.1 27	2.5 58	0.0 34	0.8 36	0.5 86	7.3 16	3.6 09	0.9 12

Tabla N° 11. Concentración de manganeso en cada sector estudiado.

		Concentraciones de manganeso														
		S12	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27
A. R		35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22
N.Det		34	10	8	6	17	21	10	32	21	8	32	8	8	12	21
Min R		0.0 06	0.0 27	0.0 61	0.0 43	0.0 04	0.02 04	0.0 04	0.0 14	0.0 14	0.0 22	0.0 11	0.0 16	0.0 34	0.0 16	0.0 11
Q1		0.0 36	0.0 76	0.0 90	0.0 43	0.0 07	0.22 3	0.0 09	0.0 29	0.0 69	0.0 74	0.0 47	0.0 8	0.0 55	0.0 38	0.0 43
Medi ana		0.0 69	0.1 47	0.1 38	0.0 54	0.0 28	0.27 3	0.0 43	0.0 71	0.5 73	0.1 49	0.0 78	0.1 71	0.0 84	0.5 03	0.0 86
Media		0.3 95	0.5 96	0.1 44	0.0 54	0.0 34	2.03 3	0.2 35	0.3 82	1.2 54	0.1 68	0.2 45	0.4 92	1.1 29	2.9 48	0.1 90
Q3		0.0 12	0.8 02	0.1 83	0.0 61	0.0 53	0.69 34	0.3 81	0.3 81	2.3 95	0.2 74	0.1 69	1.0 35	2.3 13	2.1 53	0.2 71
Max R		0.0 23	0.3 83	0.2 5	0.0 68	0.0 95	0.75 6	0.7 14	0.7 12	4.7 21	0.3 67	0.3 17	1.8 44	5.4 1	2.5 23	0.5 5
Valor Max		6.7 66	2.7 26	0.2 5	0.0 68	0.0 95	29.7 01	1.2 3	2.2 77	4.7 21	0.3 67	2.3 72	1.8 44	5.4 1	23. 13	0.7 5

Tabla N°12. Concentración de lantano en cada sector estudiado.

		Concentraciones de lantano														
		S12	S1	S1	S16	S1	S18	S19	S2	S21	S22	S23	S2	S2	S26	S27
A. R		35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22
N.Det		2	0	-	1	-	1	3	-	4	1	4	-	-	2	1

Min R	0.05 6	-	-	0.01 2	-	0.05 2	0.06	-	0.03 7	0.05 7	0.01 2	-	-	0.09 9	0.06
Q1	0.05 6	-	-	0.01 2	-	0.05 2	0.06	-	0.04	0.05 7	0.14 7	-	-	0.09 9	0.06
Media na	0.07 5	-	-	0.01 2	-	0.05 2	0.07 2	-	0.07 4	0.05 7	0.16 6	-	-	0.14 3	0.06
Media	0.07 5	-	-	0.01 2	-	0.05 2	0.07 8	-	0.08 8	0.05 7	0.3	-	-	0.14 3	0.06
Q3	0.09 4	-	-	0.01 2	-	0.05 2	0.10 3	-	0.14 9	0.05 7	0.67 4	-	-	0.18 7	0.06
Max R	0.09 4	-	-	0.01 2	-	0.05 2	0.10 3	-	0.16 6	0.05 7	0.83 9	-	-	0.18 7	0.06
Valor Max	0.09 4	-	-	0.01 2	-	0.05 2	0.10 3	-	0.16 6	0.05 7	0.83 9	-	-	0.18 7	0.06 0

Tabla N° 13. Concentración de cerio en cada sector estudiado.

	Concentraciones de cerio														
	S12	S14	S1 5	S1 6	S1 7	S1 8	S1 9	S2 0	S21	S2 2	S23	S24	S2 5	S26	S27
A. R	35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22
N.Det	3	1	-	-	-	-		-	1	-	2	0.11 5	-	2	6
Min R	0.10 7	0.011 5	-	-	-	-		-	0.31 8	-	0.16 1	0.11 5	-	0.12 6	0.19 7
Q1	0.10 7	0.011 5	-	-	-	-		-	0.31 8	-	0.16 1	0.11 5	-	0.12 6	0.21 4
Media na	0.12 7	0.011 5	-	-		-		-	0.31 8	-	0.43 6	0.11 5	-	0.21 6	0.33 1
Media	0.13 2	0.011 5	-	-		-		-	0.31 8	-	0.43 7	0.11 5	-	0.21 6	0.54 3
Q3	0.16 4	0.011 5	-	-		-		-	0.31 8	-	0.71 2	0.11 5	-	0.30 6	1
Max R	0.16 4	0.011 5	-	-		-		-	0.31 8	-	0.71 2	0.11 5	-	0.30 6	1.26 9
Valor Max	0.16 4	0.115							0.31 8		0.71 2	0.11 5		0.30 6	1.26 9

Tabla N°14. Concentración de hafnio en cada sector estudiado.

	Concentraciones de hafnio														
	S12	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27
A.R	35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22
N.Det	10	1	-	1	1	1	5	12	13	2	8	1	1	5	10
Min R	0.0 01	0.0 04	-	0.0 02	0.0 01	0.2 23	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 32	0.0 01	0.0 78	0.0 24	0.0 03	0.0 02
Q1	0.0 01	0.0 04	-	0.0 02	0.0 01	0.2 23	0.0 01	0.0 07	0.0 06	0.0 32	0.0 01	0.0 78	0.0 24	0.0 16	0.0 05
Media na	0.0 16	0.0 04	-	0.0 02	0.0 01	0.2 23	0.0 01	0.0 19	0.0 15	0.0 75	0.0 08	0.0 78	0.0 24	0.0 57	0.0 14
Media	0.0 23	0.0 04	-	0.0 02	0.0 01	0.2 23	0.0 31	0.0 24	0.0 33	0.0 75	0.0 09	0.0 78	0.0 24	0.0 54	0.0 28
Q3	0.0 25	0.0 04	-	0.0 02	0.0 01	0.2 23	0.0 76	0.0 40	0.0 66	0.1 18	0.0 13	0.0 78	0.0 24	0.0 9	0.0 49
Max R	0.0 27	0.0 04	-	0.0 02	0.0 01	0.2 23	0.1 5	0.0 58	0.1 22	0.1 18	0.0 29	0.0 78	0.0 24	0.1 14	0.0 97
Valor Max	0.1 13	0.0 04	0.0 00	0.0 02	0.0 01	0.2 23	0.1 50	0.0 58	0.1 22	0.1 18	0.0 29	0.0 78	0.0 24	0.1 14	0.0 97

Tabla N°15. Concentración de uranio en cada sector estudiado.

	Concentraciones de uranio														
	S12	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27
A. R	35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22
N.Det	6	0	-	1	-	-	1	6	1	-	1	-	2	2	5
Min R	0.0 02	-	-	0.0 02	-	-	0.0 47	0.0 01	0.0 02	-	0.0 03	-	0.0 09	0.0 13	0.0 02
Q1	0.0 02	-	-	0.0 02	-	-	0.0 47	0.0 01	0.0 02	-	0.0 03	-	0.0 09	0.0 13	0.0 04
Media na	0.0 56	-	-	0.0 02	-	-	0.0 47	0.0 06	0.0 02	-	0.0 03	-	0.0 14	0.0 37	0.0 1

Media	0.1 2	-	-	0.0 02	-	-	0.0 47	0.0 11	0.0 02	-	0.0 03	-	0.0 14	0.0 37	0.0 22
Q3	0.2 71	-	-	0.0 02	-	-	0.0 47	0.0 26	0.0 02	-	0.0 03	-	0.0 18	0.0 6	0.0 47
Max R	0.3 58	-	-	0.0 02	-	-	0.0 47	0.0 27	0.0 02	-	0.0 03	-	0.0 18	0.0 6	0.0 62
Valor Max	0.3 58	0.0 00	0.0 00	0.0 02	0.0 00	0.0 00	0.0 47	0.0 27	0.0 02	0.0 00	0.0 03	0.0 00	0.0 18	0.0 60	0.0 62

Tabla N° 16. Concentración de torio en cada sector estudiado.

	Concentraciones de torio														
	S12	S1 4	S1 5	S1 6	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S2 5	S26	S27
A. R	35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22
N.Det	7	0	-	-	1	5	8	14	5	4	5	2	-	5	5
Min R	0.00 1	-	-	-	0.00 6	0.00 3	0.00 3	0.00 1	0.01 9	0.00 7	0.00 6	0.01 2	-	0.01 4	0.00 5
Q1	0.00 3	-	-	-	0.00 6	0.00 3	0.01 2	0.01	0.04 1	0.01	0.00 7	0.01 2	-	0.01 7	0.01 1
Media na	0.00 7	-	-	-	0.00 6	0.01 5	0.02	0.02 3	0.08 9	0.03 1	0.01	0.07 9	-	0.02 1	0.11 3
Media	0.02 1	-	-	-	0.00 6	0.04 0	0.03 8	0.04 1	0.07 8	0.05 6	0.01 5	0.07 9	-	0.12 2	0.16 6
Q3	0.04 4	-	-	-	0.00 6	0.09 4	0.04	0.07 3	0.11 1	0.12 8	0.02 5	0.14 6	-	0.27 8	0.34 9
Max R	0.08	-	-	-	0.00 6	0.11 9	0.04 9	0.12 8	0.12 3	0.15 6	0.03 5	0.14 6	-	0.51 2	0.16 6
Valor Max	0.08 0				0.00 6	0.11 9	0.15 6	0.12 8	0.12 3	0.15 6	0.03 5	0.14 6		0.51 2	0.52 0

Tabla N° 17. Concentración de itrio en cada sector estudiado.

	Concentraciones de itrio														
	S12	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27
A. R	35	10	9	6	17	21	15	32	22	9	32	8	8	12	22

N.Det	10	9	4	3	2	12	5	25	18	8	24	5	6	8	19
Min R	0.0 01	0.0 01	0.0 05	0.0 01	0.0 02	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 02
Q1	0.0 01	0.0 03	0.0 08	0.0 01	0.0 02	0.0 02	0.0 02	0.0 02	0.0 05	0.0 02	0.0 01	0.0 01	0.0 01	0.0 02	0.0 02
Media na	0.0 01	0.0 09	0.0 28	0.0 03	0.0 3	0.0 03	0.0 03	0.0 03	0.0 09	0.0 06	0.0 02	0.0 02	0.0 02	0.0 05	0.0 03
Media	0.0 02	0.0 10	0.2 8	0.0 03	0.0 03	0.0 03	0.0 03	0.0 04	0.0 28	0.0 09	0.0 03	0.0 03	0.0 03	0.0 04	0.0 07
Q3	0.0 02	0.0 18	0.0 47	0.0 06	0.0 03	0.0 04	0.0 06	0.0 05	0.0 49	0.0 15	0.0 04	0.0 06	0.0 02	0.0 06	0.0 07
Max R	0.0 04	0.0 24	0.0 49	0.0 06	0.0 03	0.0 06	0.0 07	0.0 09	0.1 12	0.0 29	0.0 07	0.0 07	0.0 09	0.0 06	0.0 1
Valor Max	0.0 04	0.0 24	0.0 49	0.0 06	0.0 03	0.0 06	0.0 07	0.0 12	0.1 27	0.0 29	0.0 09	0.0 07	0.0 09	0.0 06	0.0 55

#### 4.4 Mapas geoquímico.

A continuación, se presenta un mapa geoquímico que ilustra el factor de enriquecimiento de cada elemento en los sectores estudiados. El factor de enriquecimiento se calcula dividiendo el promedio de la concentración de nuestros datos en cada sector por el promedio de la corteza terrestre (Figura 4-24). Cada sector se representa en una matriz de 3x3, donde los elementos están organizados de izquierda a derecha en el siguiente orden: vanadio, cobalto, manganeso; en la segunda fila: lantano, cerio, hafnio; y en la tercera fila: uranio, torio, e itrio. Cada elemento está representado por un punto cuyo tamaño y color reflejan su factor de enriquecimiento: 0 se muestra como un punto blanco y pequeño, entre 0 y 1 es verde oscuro, 1 es verde claro, entre 1 y 5 es amarillo, entre 5 y 10 es naranja, y mayores a 10 son rojos.

# Mapa Geoquímico Cerro Relincho- Portezuelo Poblete

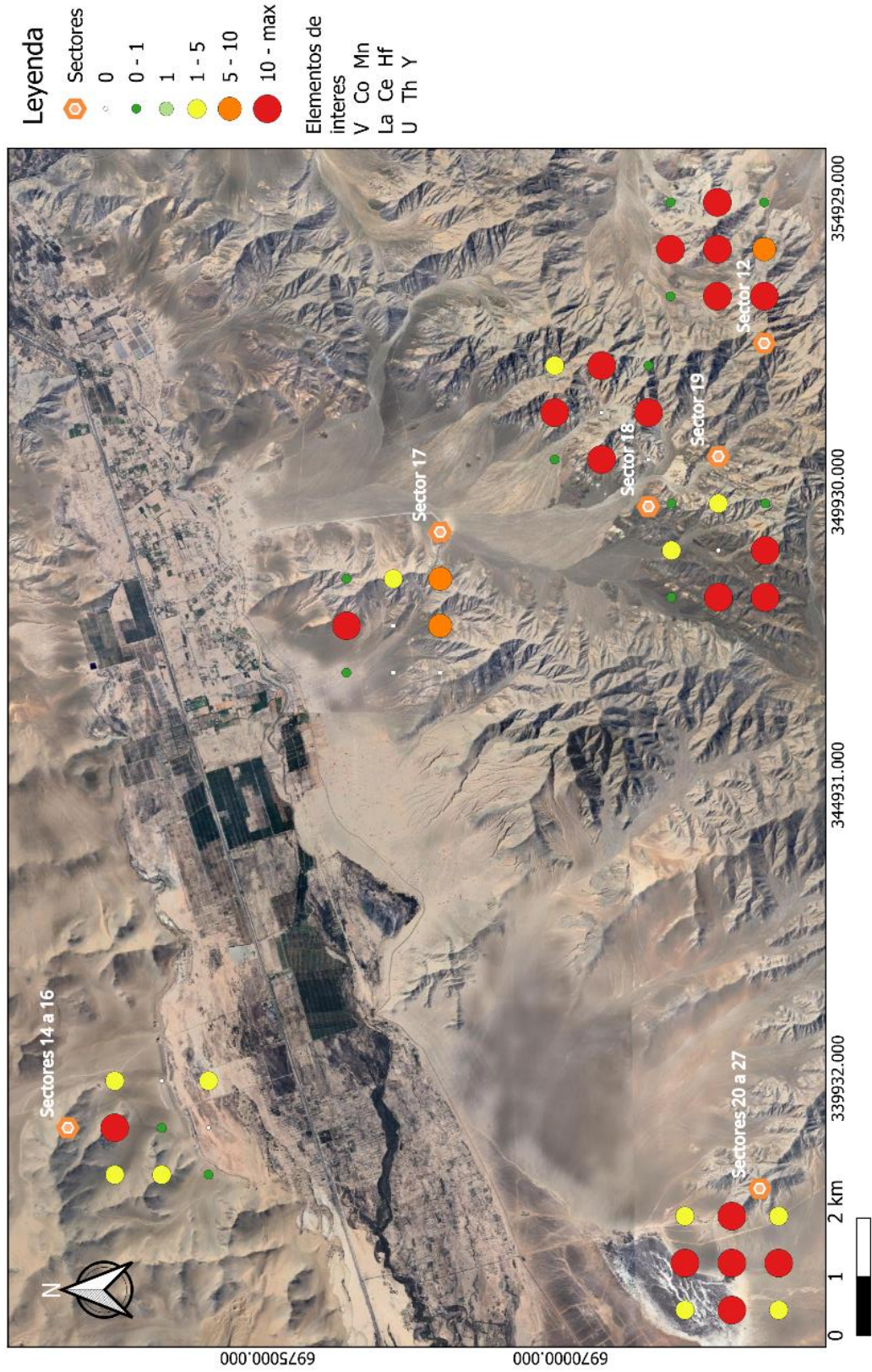


Figura 4-24.. Mapa geoquímico del área de estudio. Elaboración propia.

Mapa geoquímico con litología del sector, el cual además de mostrar el factor de enriquecimiento nos muestra en que unidades litológicas se encuentran los sectores. (Figura 4-25)

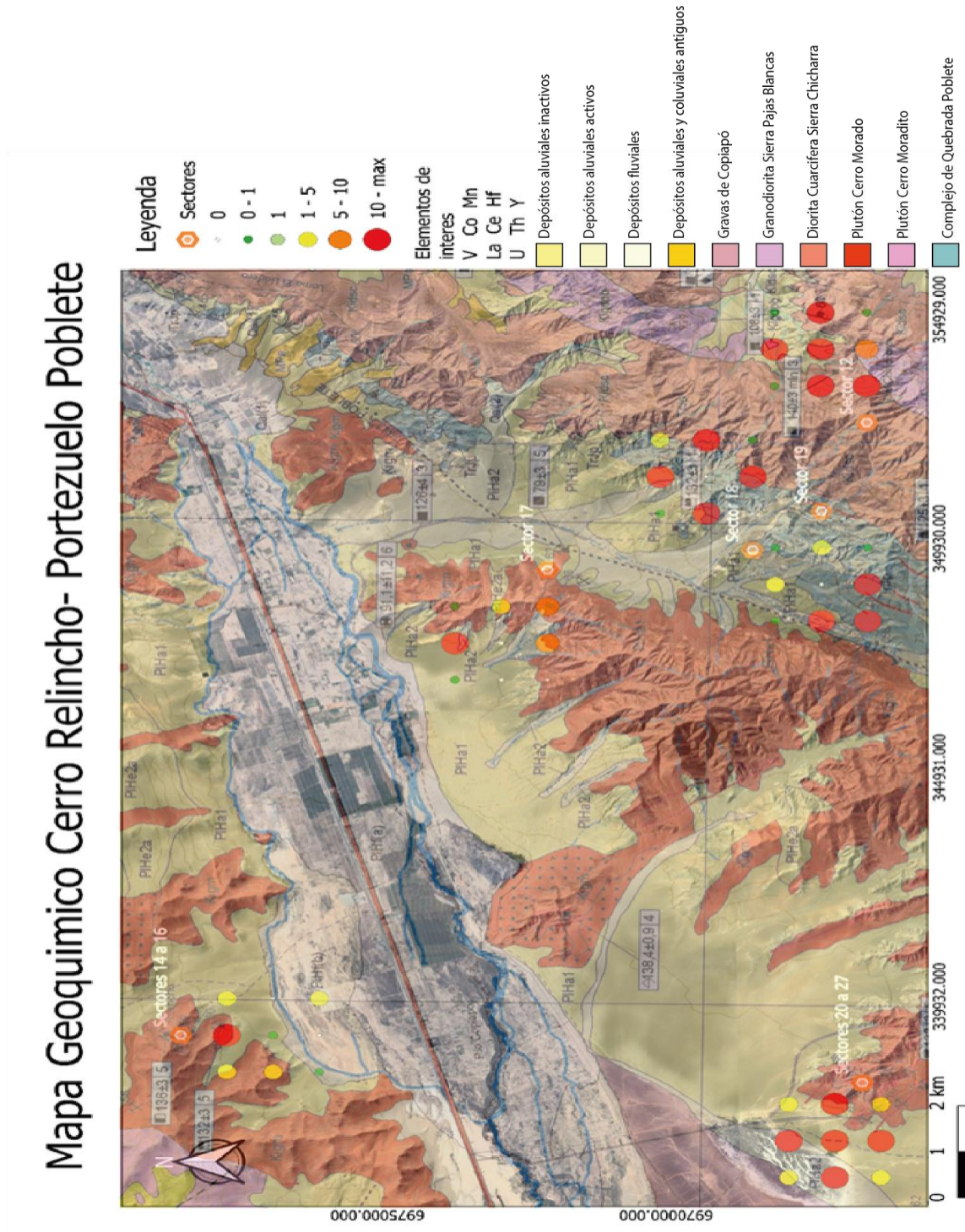


Figura 4-25. Mapa geoquímico y litológico del área de estudio. Elaboración propia.

## 5 Capítulo V: Discusión

### 5.1 Análisis a nivel general.

A nivel general en la zona de estudio se detectaron una gran cantidad de elementos dentro de los cuales destacan vanadio, cobalto, manganeso, lantano, cerio, hafnio, uranio e itrio. Las concentraciones promedio de las medianas de estos elementos superan los valores promedios de la corteza terrestre señalados por Haynes y otros en el 2014. Es por esto que los elementos antes mencionados pueden ser considerados anómalos, pero se debe considerar que en la estadística aplicada a estos elementos se trabajó solo con valores mayores de 0.

Cabe destacar que en la gran mayoría de los gráficos de box plot existen valores atípicos, los cuales influyen en los valores estadísticos calculados como la media aritmética, causando en general un aumento de esta, es decir provocando un aumento en el promedio de las concentraciones, esto queda en evidencia al ver que este valor se encuentra fuera de las cajas de los gráficos. Es por esto que la mediana se torna la manera más fiable de ver el comportamiento de las concentraciones de los elementos.

Un parámetro a destacar es la cantidad de veces que fue detectado cada elemento, donde de un total de 255 detecciones, los que tienen una mayor frecuencia fueron el manganeso con 248, rubidio con 198, circonio con 178, vanadio con 176, estroncio con 165, molibdeno con 163, itrio con 158, plomo con 138 y cobalto con 123. Los elementos que no fueron estudiados se deben a que no su mediana no supera a la concentración a la corteza o simplemente no cumplen un rol estratégico.

Cabe destacar que se detectaron elementos poco comunes pero los que no se estudiaron debido a su bajo número de detecciones o por no ser estratégico, estos elementos fueron el tántalo con 18 detecciones una concentración mediana de 10 ppm, platino con 1 detección y una concentración de 10 ppm la cual corresponde a la muestra 7 zona C del sector 18 descrita como una magnetita alterada a limonitas, niobio con 5 detecciones y una mediana de 20 ppm y oro con 40 detecciones y una mediana de 40 ppm.

Elementos como cerio, hafnio, lantano, torio y uranio a pesar de no estar presentes en gran cantidad, 16, 71, 19, 18 y 25 respectivamente, sus valores de mediana si están por sobre los valores promedios de la corteza terrestre (0.208%, 0.015%, 0.072%, 0.019% y 0.01%). En el caso del cerio este destaca en los sectores 12, 14-16 y 20-27, el al hafnio se encuentra en los sectores 12, 18 y 20-27, el lantano en los sectores 12, 19 y 20-27, el torio en los sectores 18, 19 y 20-27 y en el caso del uranio destaca en los sectores 12 y 19.

Los elementos que si tienen una concentración y además una gran cantidad de detecciones fueron vanadio 179 detecciones y una concentración mediana de 0.015 %, el cobalto con 123 detecciones y una mediana de 0.206 %, manganeso con 248 detecciones y una mediana de 0.0855% e itrio con 158 detecciones y una mediana de 0.003%. En el caso del vanadio destaca solo en el sector 20-27 estando tan solo entre 1 a 5 veces sobre el promedio de la corteza, el cobalto se encuentra en todos los sectores por sobre el promedio de la corteza, el manganeso solo se encuentra en el sector 20-27 donde no supera 5 veces el promedio de la corteza y el itrio solo se encuentra en el sector 17 donde está entre 5-10 veces por sobre el promedio de la corteza.

## **5.2 Interpretación sectores de estudio.**

### **5.2.1 Sector 12**

Esta zona corresponde a la mina Loreto, caracterizada por ser un cuerpo brechiforme en superficie con mineralización de óxidos de cobre, manganeso y *copper wad* a profundidad posee minerales como pirita, calcopirita y magnetita (fig. 4.3), las cuales están hospedadas en un cuerpo diorítico, asociado a la unidad Diorita Cuarcifera Sierra Chicharra. En el sector destacan las concentraciones de cobalto, hafnio, uranio, lantano y cerio. Estas concentraciones tienen un factor de enriquecimiento de 74 en el cobalto, 53 en el hafnio, 20 uranio y 19 en el caso del cerio y el lantano. Además, es en este sector donde se encuentran los mayores factores de enriquecimiento del lantano y el uranio, sin embargo, en el caso del lantano el número de detecciones es solo 2 por lo que no sería representativo agregando que es la misma muestra (P12M10

zona B y C) medida en dos zonas diferentes, en el caso del uranio fue detectado en 6 ocasiones y en 3 muestras diferentes todas asociadas a minerales como limonitas y óxidos de cobre, su mayor valor fue de 0.358% en la muestra P12M11 zona E.

### **5.2.2 Sector 14-16**

Esta zona corresponde a los sectores 14, 15 y 16, los cuales se encuentran en el cerro Relincho, el cual está compuesto por dioritas asociadas al Plutón Cerro Morado. Se tomaron como un solo sector debido a su cercanía y las características mineralógicas como morfo-estructurales, ya que corresponden a depósitos vetiformes de magnetita alterando a hematita supergena y limonitas las que son paralelas entre ellas, según Arévalo y otros en el 2005, define estos depósitos como depósitos de hierro y oro, lo cual se confirma con la geoquímica realizada, ya que estos sectores se caracterizan por poseer valores de hasta 50 ppm de oro. Con respecto a los elementos estratégicos estudiados, destaca por sobre todo el cobalto con un factor de enriquecimiento de 100 veces por sobre la corteza terrestre, destacando en el sector 14 la muestra M1 zona A, la que posee una concentración de 0.6 %, asociada a magnetita. (Fig. 4.10), las otras muestras que poseen cobalto están asociadas a óxidos de manganeso y óxidos negros de cobre, otros elementos que destacan, pero no superan 5 veces el factor de enriquecimiento son el vanadio, manganeso, lantano e itrio. Este es el segundo sector con concentraciones más altas de itrio, con un factor de enriquecimiento de 4, cabe destacar que no posee el valor más alto de concentraciones entre sus datos, por lo que estos tendrían una mayor consistencia, ya que además la mayoría de las muestras tienen concentraciones de este elemento (8 de 12 muestras).

### **5.2.3 Sector 17**

Este sector, se caracteriza por ser un cuerpo brechizado de magnetita, el cual esta hospedado en rocas dioríticas a tonalítica asociadas al Plutón Cerro Morado. En este sector destaca la presencia de cobalto e itrio, donde el cobalto posee 19 veces más que la concentración promedio en la corteza y el itrio tiene un factor de enriquecimiento de 9 siendo el valor más alto de todos los sectores estudiados, sin embargo, este valor no es significativo, ya que solo son 2 muestras las que poseen

concentración de 30 y 20 ppm, correspondientes a brechas hidrotermales de magnetita (M1 y M2).

#### **5.2.4 Sector 18**

Este sector, es el único sector que está ubicado en los Estratos de Quebrada Poblete, y se caracteriza por ser un cuerpo vetiforme de hierro y cobre, con la presencia de minerales como magnetita y óxidos de cobre principalmente crisocola relleno de fracturas los que están en una roca de caja metamórfica aparentemente un esquisto. Es este sector el que posee los mayores factores de enriquecimiento de manganeso y de hafnio. En el caso del manganeso es un factor de 2.8, este valor si bien está sobre el promedio de la corteza es el segundo elemento más bajo detectado, ya que todos los demás poseen valores sobre 5 excepto el vanadio, cabe destacar que este sector posee la mayor concentración de manganeso detectada que fue de 29% la cual está asociada a una concentración de cobalto de 1.125 % (muestra M7 zona c). En el caso del hafnio es en este sector donde se encontró también la mayor concentración de este elemento con un valor de 0.223% y se obtuvo un factor de enriquecimiento de 743, lo cual implica que es una anomalía extremadamente interesante, sin embargo, es la única muestra que fue detectada de un total de 21 detecciones, por lo que su interpretación sería equivocada, cabe destacar que dicha anomalía se presentó en una pátina de crisocola.

#### **5.2.5 Sector 19**

El área del sector 19 corresponde a rocas dioríticas asociadas a la unidad Diorita Cuarcífera Sierra Chicharra. La mineralización de esta zona es de forma irregular y tiene como mena principal hierro y cobre, presentes en minerales como magnetita, crisocola y óxidos negros. Si bien en esta zona no existe ningún máximo, posee concentraciones interesantes de lantano y uranio. Con factores de enriquecimiento de 18 y 17 respectivamente. Desafortunadamente en el caso del lantano solo está presente en 3 de 16 detecciones realizadas, por lo que no sería representativo, sin embargo, esta anomalía estaría asociada a óxidos de cobre. En el caso del uranio

sucede lo mismo solo fue detectado una vez por lo que no es representativo para definir el área como anómala.

### **5.2.6 Sector 20-27**

Este sector es el conjunto de los sectores 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 los que están en una misma área geográfica y poseen características litológicas, mineralógicas y estructurales similares. Esta área se caracteriza por presentar cuerpos vetiformes de potencias kilométricas, asociadas a planos de fallas inversas, con dos orientaciones preferentes (N-S y N-W) situadas en rocas dioríticas pertenecientes al Plutón Cerro Morado, sus menas son férricas con minerales como magnetita, hematita y escasa presencia de cobre. Esta zona es la más rica en todos los elementos estudiados están sobre el promedio de la corteza y además posee la mayor cantidad de muestras por lo que los datos obtenidos son más fiables, los elementos que más destacan y son máximos comparados con los otros sectores son vanadio, cobalto, cerio y torio. En el caso del vanadio este es el elemento más escaso de toda el área de estudio con un factor de enriquecimiento de tan solo 1.65, pero que está presente en más de 75% de las rocas analizadas con un valor máximo de 0.458 % en el sector 24 el que tiene una mediana de 0.31%, este sector se caracteriza por tener una mineralización de magnetita con óxidos de hierro, pero en el caso del valor máximo corresponde a la roca de caja, el segundo valor máximo es de 0.167% y es del sector 20, la roca corresponde a una magnetita con pocos óxidos de cobre diseminados. En el caso del cobalto es en el sector 26 donde se detectó la mayor anomalía con un valor de 15.48% asociado a una pátina de óxidos negros de manganeso y cobre (muestra S2P5V3M3 zona A), el factor de enriquecimiento para toda el área es de 166, este valor acompañado de una gran cantidad de detecciones, potencia a este sector como un área muy interesante. Con respecto al cerio el valor de enriquecimiento es de 26, en donde destaca el sector 27 que posee más detecciones por lo que los datos obtenidos son más fiables y además tiene la concentración más alta del sector con un valor de 1.26 %, este valor corresponde a la muestra S2P6V1M6 zona B que es una hematita especular y para finalizar el caso del torio se encuentra 47 veces más que en comparación con el promedio de la corteza y su mayor concentración se encuentra en

el sector 27 específicamente en la muestra S2P6V1M5 zona C la cual es una pátina de óxidos de cobres con un valor de 0.52% de torio.

### **5.3 Interpretación análisis macroscópico y microscópico**

De acuerdo a las muestras analizadas macroscópicas como microscópicamente, se demuestra que la principal mena es de hierro con una mineralización de magnetita la cual presenta diferentes niveles de alteración. Es en los sectores 14-16 y 20-27 donde se encuentran las rocas más alteradas a hematita especular, lo cual podría deberse a condiciones oxidantes determinadas por factores climáticos, estructurales como la falla Poblete y la presencia de aguas meteóricas presentes en la cuenca mesozoica de tras arco descrita por Charrier y otros en 2008. Sin embargo, en el sector 12 se destacan minerales como óxidos y sulfuros de cobre los cuales asociados a un enriquecimiento por fluidos hidrotermales cabe destacar que este es el sector que está a mayor altura, por lo que podríamos suponer que existe un cuerpo masivo bajo este sector. Con respecto a minerales de alteración, de manera macroscópica su mayoría son limonitas y calcita que acompañan a las vetas magnetita o hematita especular, de manera microscópica se observó sericita alterando a plagioclasas, cloritas, estos minerales están asociados a depósitos IOCG O IOA (Sillitoe, 2003). Sin embargo, los depósitos vistos no cumplen con las características de un IOA, al no encontrar apatita en ninguno de los sectores estudiados.

Cabe destacar que la gran mayoría de los sectores a excepción del sector 18, están hospedados en rocas ígneas de composición diorítica a tonalítica del cretácico inferior, afirmando lo dicho por Godoy y otros en el 2003, y dejando en evidencia el segundo evento metalogénico asociado al cretácico inferior. Es en este proceso de magmatismo intenso descrito por Diaz y otros en el 2003 que estaría la génesis de los depósitos estudiados y a su vez explicaría el origen de los fluidos hidrotemales que concentraron los elementos estudiados. Además, se encuentra la Falla Poblete la cual tendría un rol activo en al permitir la circulación de los fluidos, esto se infiere a la morfología vetiforme que poseen la mayoría de los depósitos estudiados, cabe destacar que no existe información de esta falla por lo que lo dicho anteriormente es solo interpretativo.

#### **5.4 Elementos estratégicos**

Con respecto a los elementos estudiados (vanadio, cobalto, manganeso, lantano, cerio, hafnio, uranio, torio e itrio), todos se encuentran en concentraciones traza, debido a que no se encontraron minerales en los que la mena principal o en su estructura química poseyera estos elementos, es por esto que es probable que estos elementos se encuentren en la red cristalina de minerales ricos en hierro y cobre, mediante las leyes de Goldschmidt, donde el radio iónico y la electro negatividad juegan un rol fundamental, ahora de sustituir, remplazar o robar un espacio en la red del mineral.

Debido a que los elementos estudiados solo están en traza es difícil que exista un método rentable para su recuperación de manera primaria, es por esto que solo podrían ser recuperados como subproductos, en donde el sector más interesante sería el sector 20-27 tomando en cuenta sus dimensiones, que actualmente está activa y que posee anomalías de todos los elementos estudiados y la mayor concentración de cobalto.

#### **5.5 Análisis de correlación**

De acuerdo a los resultados obtenidos de la de correlación de Sperman, podemos decir que solo se relacionaron 3 elementos de manera excelente o muy buena los cuales son, el hierro con el plomo y el bismuto, y el bismuto con el plomo. De buena manera se correlacionaron el manganeso con el cobalto, el cobalto con el níquel, el níquel con el cobre, y el estroncio con el circonio, el plomo y el bismuto. Lo anterior reafirma lo dicho en el punto 5.2 donde la gran mayoría de las muestras de cobalto están asociadas a concentraciones altas de manganeso, estas a su vez asociadas a óxidos en formas de patinas en su mayoría acompañadas de óxidos de cobre lo cual también es validado por los datos de la matriz al arrojar una correlación entre el níquel y el cobre y a su vez el níquel con el cobalto. Con respecto al vanadio este está posee una relación moderadamente buena con el hierro, cobalto y cobre, para el itrio su relación moderadamente buena con bastantes elementos entre los que destacan manganeso, cobalto, torio y lantano, este último está relacionado con cerio, torio, cobalto y cobre. En el caso del cerio destaca su relación moderadamente buena con el torio y lantano.

Para el hafnio su mayor relación es moderadamente buena con el níquel, el cobre y el torio y para finalizar el uranio tiene una relación moderadamente buena con el cobre y el cobalto.

## 6 Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones.

- Las principales menas del área de estudio son óxidos de hierro en vetas, y la segunda mena es de óxidos de cobre, de manera diseminada o rellenando fracturas.
- Los minerales de alteración más comunes son las limonitas y calcita.
- Debido a las principales menas presentes en estos depósitos, el distrito se puede clasificar como del tipo IOCG.
- Los elementos encontrados que más destacan fueron cobalto (166 detecciones con un factor de enriquecimiento mayor a 1), hafnio (743 detecciones con un factor de enriquecimiento mayor a 1) y el itrio (9 detecciones con un factor de enriquecimiento mayor a 1), torio (47 detecciones con un factor de enriquecimiento mayor a 1), lantano (19 detecciones con un factor de enriquecimiento mayor a 1), cerio (26 detecciones con un factor de enriquecimiento mayor a 1) y uranio (20 detecciones con un factor de enriquecimiento mayor a 1)
- Los elementos estudiados (cobalto, hafnio, itrio, torio, lantano, cerio y uranio) solo pueden ser trabajados como subproductos de sus menas primarias, tanto de cobre como hierro
- El cobalto se encuentra en mayor concentración en el sector 20-27 y está asociado a óxidos de manganeso, hierro y magnetita
- Las tierras raras como el lantano, cerio y torio están asociadas a óxidos de cobre
- El uranio está ligado a menas de cobre oxidadas y sulfuradas.
- El hafnio este asociado al níquel y cobre
- Los datos geoquímicos pueden ser poco fiables en casos con un número limitado de muestras y detecciones, lo que aumenta la influencia de cada muestra en los resultados estadísticos.
- El origen de elementos como el cobalto, hafnio, itrio, torio, lantano, cerio y uranio estaría ligado a la circulación de fluidos provocados por el emplazamiento de cuerpos magmáticos, correspondientes al Plutón Cerro

Morado y la Diorita Cuarcifera de Sierra Chicharra entre los 140 y 125 Ma. (Cretácico inferior) controlada por estructuras geológicas asociadas a la Falla Poblete, la que está ubicada en el sector portezuelo Poblete.

## 6.2 Recomendaciones.

- Dado que en muchos de los sectores con anomalías detectadas la cantidad de muestras fue limitada, se recomienda llevar a cabo un muestreo más robusto, centrado en los minerales de mena descritos en este estudio.
- Complementar con otras metodologías geoquímicas enfocadas en la detección de elementos a niveles traza, como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), que permite detectar concentraciones muy bajas de elementos, la **absorción atómica (AAS)** y la **activación neutrónica (NAA)** también pueden ser útiles para la identificación precisa y cuantificación de elementos traza en las muestras.
- Ya que las concentraciones de cobalto están asociadas a pátinas de óxidos de manganeso se recomienda realizar estudios químico-mineralógicos de alta resolución en estas zonas.
- Debido que el sector 20-27 muestra anomalías en todos los elementos, se sugiere llevar a cabo un estudio más detallado en esta zona. Esto debería incluir un análisis petrológico para identificar las rocas presentes, su mineralogía y cómo se han formado y modificado a lo largo del tiempo. También es necesario realizar un estudio estructural para entender las principales fallas, fracturas y deformaciones que puedan estar influyendo en la distribución de los elementos anómalos. Sería útil hacer un mapeo geológico detallado, además de análisis microestructurales y modelos geofísicos que permitan conocer mejor las estructuras subterráneas que podrían estar relacionadas con el enriquecimiento de estos elementos.

## 7 Referencias

Baños Bajo, P. (2011). *Documento Marco del IEEE: El espectro de los minerales estratégicos (I): Afganistán*. N° 03/2011. División de Asuntos Estratégicos y de Seguridad, Secretaría General de Política de Defensa.

Cannon, W. F., Kimball, B. E., & Corathers, L. A. (2017). Manganese. En K. J. Schulz, J. H. DeYoung, Jr., R. R. Seal II, & D. C. Bradley (Eds.), *Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. L1–L28). U.S. Geological Survey Professional Paper 1802.

Camus, F. (2003). *Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile*. SERNAGEOMIN. p. 267. Santiago.

Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En T. Moreno & W. Gibbons (Eds.), *The geology of Chile* (pp. 21-114). The Geological Society.

Chen, H., Cooke, D., & Baker, M. (2013). Mesozoic iron oxide copper-gold mineralization in the Central Andes and the Gondwana supercontinent breakup. *Economic Geology*, 108(1), 37-44.

Cifuentes, C. (2019). Chile, minería más allá del cobre. Recuperado de [https://www.cochilco.cl/Presentaciones/2019%2008%2022%20Chile%20-%20minería%20más%20allá%20del%20cobre\\_CCG.pdf](https://www.cochilco.cl/Presentaciones/2019%2008%2022%20Chile%20-%20minería%20más%20allá%20del%20cobre_CCG.pdf)

Comisión Chilena del Cobre (Cochilco). (2016). *Situación actual del mercado de tierras raras y su potencial en Chile*.

Corathers, L. A. (2013b). Manganese. *U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 2013*, 100–101.

Cordier, D. J. (2022). Yttrium. En *Mineral Commodity Summaries*. U.S. Geological Survey (pp. 188-190).

Coveney, R. M., Jr., & Martin, S. P. (1983). Molybdenum and other heavy metals of the Mecca Quarry and Logan Quarry shales. *Economic Geology*, 78, 132–149.

Coveney, R. M., Jr., Murowchick, J. B., Grauch, R. I., Glascock, M. D., & Denison, J. R. (1992). Gold and platinum in shales with evidence against extraterrestrial sources of metals. *Chemical Geology*, 99(1–3), 101–114.

Creixell, C., Fuentes, J., Bierma, H., & Salazar, E. (2015). Tectónica regional y metalogénesis asociada al emplazamiento de la franja de pórfidos cupríferos cretácicos del norte de Chile (28°-30°S). *XIV Congreso Geológico Chileno*, 134.

Dahlkamp, F. J. (2010). *Uranium deposits of the world—USA and Latin America*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.

Dallmeyer, D., Brown, M., Grocott, J., Taylor, G., & Treloar, P. J. (1996). Mesozoic magmatic and tectonic events within the Andean Plate boundary zone, 26°–27°30'S, North Chile: constraints from <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar mineral ages. *The Journal of Geology*, 104, 19–40.

Desborough, G. A., Poole, F. G., Hose, R. K., & Radtke, A. S. (1979). Metals in Devonian kerogenous marine strata at Gibellini and Bisoni properties in southern Fish Creek Range, Eureka County, Nevada. *U.S. Geological Survey Open-File Report 79–530*, 31.

Díaz, A., Lledó, H., & Vivallo, W. (2006). Yacimientos metalíferos de la Carta Copiapó. Región de Atacama. *Servicio Nacional de Geología y Minería. Serie Recursos Minerales y Energéticos No. 26*, 30.

Dobbs, M. (1978). Distribución de vanadio y titanio en el Cuerpo Principal de la mina El Romeral (Tesis de doctorado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología, Santiago).

Dorr, J. V. N. II, Crittenden, M. D. Jr., & Worl, R. G. (1973). Manganese. En D. A. Brobst & W. P. Pratt (Eds.), *United States mineral resources* (pp. 385–399). U.S. Geological Survey Professional Paper 820.

Dupuis, C., & Beaudoin, G. (2011). Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types. *Mineralium Deposita*, 46(4), 319–335.

Elgueta, R. (1991). Interpretación geológica del vanadio en Cerro Principal, distrito minero El Romeral, región de Coquimbo, Chile. En *Congreso geológico chileno* (Vol. 6, pp. 796-800).

Ernst, R. E., Buchan, K. L., & Campbell, I. H. (2005). Frontiers in large igneous province research. *Lithos*, 79(3-4), 271–297.

Faroon, O., Ingerman, L., Roney, N., Scinicariello, F., & Wilbur, S. B. (2013). Toxicological profile for uranium.

Fischer, R. P. (1973). Vanadium. En D. A. Brobst & W. P. Pratt (Eds.), *United States mineral resources* (pp. 679–688). U.S. Geological Survey Professional Paper 820.

Fischer, R. P. (1975a). Geology and resources of base-metal vanadate deposits. *U.S. Geological Survey Professional Paper 926-A*, 13.

Fortier, S. M., Hammarstrom, J. H., Ryker, S. J., Day, W. C., & Seal, R. R. (2018). USGS critical minerals review. *Mining Engineering*, 71(5), 35-47.

Gambogi, J. (2010). Zirconium and hafnium. En *Metals and minerals: U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2007* (pp. 85.1–85.9).

Gambogi, J. (2022). Zirconium and hafnium. En *Mineral Commodity Summaries*. U.S. Geological Survey (p. 195).

Godoy, E., Marquardt, C., & Blanco, N. (2003). Carta Caldera, Región de Atacama. *Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica No. 76*, 39.

Government of India, Department of Atomic Energy. (2011). Lok Sabha unstarred question no. 300—Deposits of rare earths. *Government of India, Department of Atomic Energy*, 2.

Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1984). *Chemistry of the elements*. Oxford: Pergamon Press.

Groves, D., Bierlein, F., Meinert, L., & Hitzman, M. (2010). Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through Earth history: Implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits. *Economic Geology*, 105(3), 641-654.

Hatch, J. R., & Leventhal, J. S. (1992). Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A. *Chemical Geology*, 99(1-3), 65-82.

Hatch, G. P. (2012). Dynamics in the global market for rare earths. *Elements*, 8(5), 341-346.

Hatton, C. J. (1995). Mantle plume origin for the Bushveld and Ventersdorp magmatic provinces. *Journal of African Earth Sciences*, 21(4), 571-577.

Haynes, W. M., Lide, D. R., & Bruno, T. J. (2014). *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC Press.

Henríquez, F. (1978). Posibilidades de subproductos en la minería del hierro en Chile. *Revista Geológica de Chile*, 6, 53-57.

Henríquez, F. (1981). Yacimientos de Hierro en Chile: Caso de "El Laco". *Revista Remetallica*, 2.

Herrera, J. (2018). *Cobalto: el oro del siglo XXI gana 266% en 18 meses*. Diario Ámbito Financiero. Retrieved from Diario Ámbito Financiero

Hitzman, M., Oreskes, N., & Einaudi, M. (1992). Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. In G. Gaál & K. Schulz (Eds.), *Precambrian metallogeny related to plate tectonics* (pp. 241–287). *Precambrian Research*, 58.

Hitzman, M.W. (2000). Iron oxide-Cu-Au deposit: What, where, when, and why. In T.M. Porter (Ed.), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective* (pp. 9–26). Adelaide: Australian Mineral Foundation.

Jones, J.V., III, Piatak, N.M., & Bedinger, G.M. (2017). Zirconium and hafnium. In K.J. Schulz, J.H. DeYoung, Jr., R.R. Seal, II, & D.C. Bradley (Eds.), *Critical mineral resources of the United States: Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. V1–V26). U.S. Geological Survey Professional Paper 1802.

Kelley, K.D., Scott, C.T., Polyak, D.E., & Kimball, B.E. (2017). Vanadium. In K.J. Schulz, J.H. DeYoung, Jr., R.R. Seal, II, & D.C. Bradley (Eds.), *Critical mineral resources of the United States: Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. U1–U26). U.S. Geological Survey Professional Paper 1802.

Lacassie, J.P., Vivallo, W., Díaz, A., & Ruiz-del-Solar, J. (2015). Geoquímica de yacimientos metálicos y de sedimentos, de las regiones de Atacama y Coquimbo, norte de Chile. In *XIV Congreso Geológico Chileno* (pp. 429-432).

Lide, D.R. (Ed.). (2004). *CRC handbook of chemistry and physics* (Vol. 85). CRC Press.

Long, K.R. (2011). The future of rare earth elements: Will these high-tech industry elements continue in short supply? U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1189.

Long, K.R., Van Gosen, B.S., Foley, N.K., & Cordier, D. (2010). The principal rare earth elements deposits of the United States: A summary of domestic deposits and a global perspective. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5220.

Mangas, A. (2021). Minerales estratégicos (y sus dilemas) en un mundo renovable. *Esglobal*. Retrieved from [Esglobal](#)

Marschik, R., & Fontboté, L. (2001). The Punta del Cobre Formation, Punta del Cobre-Candelaria area, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 401–433.

Martinic Beros, M. (1973). Otros antecedentes para el historial antártico de Chile. In *Anales del Instituto de la Patagonia*. Instituto de la Patagonia.

Maynard, J.B. (2003). Manganiferous sediments, rocks, and ores. In F.T. MacKenzie (Ed.), *Sediments, diagenesis, and sedimentary rocks* (Vol. 7 of *Treatise on geochemistry*, pp. 289–308). Oxford: Elsevier-Pergamon.

McKelvey, V.E., & Nelson, J.M. (1950). Characteristics of marine uranium-bearing sedimentary rocks. *Economic Geology*, 45(1), 35-53.

Morss, L.R. (2006). *The chemistry of the actinide and transactinide elements* (Vol. 1). Dordrecht: Springer.

Mpodozis, C., Cornejo, P., Kay, S.M., & Tittler, A. (1995). La Franja de Maricunga: Síntesis de la evolución del frente volcánico Oligoceno-Mioceno de la zona sur de los Andes Centrales. *Revista Geológica de Chile*, 22, 273-313.

Nassar, N.T., & Fortier, S.M. (2021). Methodology and technical input for the 2021 review and revision of the US Critical Minerals List (No. 2021-1045). U.S. Geological Survey.

National Research Council. (2008). *Minerals, critical minerals, and the U.S. economy*. Washington, D.C.: The National Academies Press.

Nyström, J.O., & Henríquez, F. (1994). Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry. *Economic Geology*, 89, 820–839.

Piper, D.Z. (1999). Trace elements and major-element oxides in the Phosphoria Formation at Enoch Valley, Idaho: Permian sources and current reactivities. U.S. Geological Survey Open-File Report 99–163.

Polyak, D.E. (2022). Vanadium. In *Mineral Commodity Summaries*. U.S. Geological Survey.

PwC Chile. (2022). *Global Mine 2022: Transforming for a net-zero future*. Retrieved from PwC Chile

Regueiro, M. (2014). Minerales críticos en Europa: Metodología para la evaluación de la criticidad de los minerales. *Macla*, (19).

Scheuber, E., & Andriessen, P.A.M. (1990). The kinematic and geodynamic significance of the Atacama fault zone, northern Chile. *Journal of Structural Geology*, 12, 243–257.

Segerstrom, K. (1960). Structural geology of an area east of Copiapó, Atacama Province, Chile. In *Reports XXI International Geological Congress* (Vol. 18, pp. 14-20).

Sellés, D., Muzzio, G., & Castillo, B. (2015). Magmatismo cretácico inferior de la Franja Ferrífera de Atacama-Coquimbo: Geoquímica ígnea. In *XII Congreso Geológico Chileno*.

Shawe, D.R. (2011). Uranium-vanadium deposits of the Slick Rock district, Colorado. U.S. Geological Survey Professional Paper 576–F.

Shedd, K.B. (2022). Cobalt. In *Mineral commodity summaries 2022*. U.S. Geological Survey.

Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Seal, R.R., & Bradley, D.C. (Eds.). (2017). *Critical mineral resources of the United States: Economic and environmental geology and prospects for future supply*. Geological Survey.

Sillitoe, R.H. (2003). Iron oxide-copper-gold deposits: An Andean view. *Mineralium Deposita*, 38(7), 787-812.

Singh, M.M. (2022). Thorium. In *Mineral Commodity Summaries*. U.S. Geological Survey.

Summaries, M.C. (2021). *Mineral commodity summaries*. U.S. Geological Survey.

Taylor, S.R., & McLennan, S.M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2), 241–265.

Townley, B., Díaz, A., & Lucay, R. (2017). Estado del arte y potenciales recursos Co y Mn en Chile.

Tse, P.K. (2011). China's rare-earth industry. U.S. Geological Survey Open-File Report 2011–1042.

U.S. Geological Survey. (2010–2013). *Metals and minerals: U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2008–2011* (Vol. I).

Van Gosen, B.S., Verplanck, P.L., Seal, R.R., II, Long, K.R., & Gambogi, J. (2017). Rare-earth elements. In K.J. Schulz, J.H. DeYoung, Jr., R.R. Seal, II, & D.C. Bradley (Eds.), *Critical mineral resources of the United States: Economic and environmental geology and prospects for future supply* (pp. O1–O31). U.S. Geological Survey Professional Paper 1802.

Vierrether, C.W., & Cornell, W.L. (1993). Rare-earth occurrences in the Pea Ridge tailings. U.S. Bureau of Mines Report of Investigations, RI 9453.

Vivallo, W., Espinoza, S., & Henríquez, F. (1994). Geología y mineralización del distrito ferrífero Cerro Imán, Copiapó, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 21(2), 197-212.

Vivallo, W., & Henríquez, F. (1998). Génesis común de los yacimientos estratoligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 25(2), 199-228.

Vivallo, W. (2009). Yacimientos de óxidos de Hierro-cobre-oro en Chile. In *XII Congreso Geológico Chileno*.

Williams, P., Barton, M., Johnson, D., Fontboté, L., De Haller, A., Mark, G., Oliver, N., & Marschik, R. (2005). Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin.

World Nuclear Association. (n.d.). *World uranium mining*. Retrieved from World Nuclear Association

Yang, K.-f., Fan, H.-r., Hu, F.-f., & Wang, K.-y. (2010). Intrusion sequence of carbonatite dykes and REE-enrichment mechanism in Bayan Obo district, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5), 1523–1529.

Zappettini, E. (2021). Minerales y metales críticos y estratégicos: Análisis de situación y metodología de clasificación para la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales N° 45

## 8 Anexos

### 8.1 Datos Geoquímicos

Punto o mina	Muestras	Este	Norte	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	S	Cl	K2O	CaO	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se
Lince punto 12	M13(A)	352464	6966525	2.406	2.831	17.347	0.000	2.083	0.097	0.251	1.445	0.000	0.009	0.000	0.117	46.568	0.369	0.043	1.094	0.003	0.000	0.000
Lince punto 12	M13(B)	352464	6966525	0.000	1.883	9.270	0.233	32.370	0.000	0.058	2.458	0.009	0.000	0.000	0.068	58.317	0.231	0.064	16.557	0.000	0.000	0.005
Lince punto 12	M14X1	352464	6966525	0.000	4.127	34.881	0.152	10.145	0.020	0.045	4.028	0.220	0.001	0.000	0.091	42.953	0.177	0.031	3.553	0.005	0.000	0.000
Lince punto 12	M14X2 (A)	352464	6966525	0.000	3.316	28.651	0.422	29.666	0.096	0.144	3.971	0.024	0.000	0.000	0.050	30.449	0.088	0.027	3.892	0.012	0.000	0.002
Lince punto 12	M14x2(B)	352464	6966525	0.000	5.166	72.150	0.163	1.414	0.010	0.110	4.213	0.070	0.010	0.000	0.091	23.614	0.015	0.009	0.215	0.004	0.000	0.000
Lince punto 12	M6	352464	6966525	1.576	1.812	10.358	0.000	0.100	0.032	0.089	0.460	0.000	0.020	0.000	0.069	24.631	0.000	0.026	9.427	0.000	0.000	0.001
Lince punto 12	M1(A)	352464	6966525	1.672	3.969	17.782	0.086	0.000	0.000	0.057	5.350	0.000	0.021	0.000	0.069	27.063	0.000	0.029	7.469	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M1(B)	352464	6966525	0.000	1.112	51.523	0.069	0.070	0.052	0.029	6.296	0.006	0.005	0.000	0.037	13.457	0.000	0.002	0.078	0.001	0.000	0.000
Lince punto 12	M3(A)	352464	6966525	1.472	5.372	34.043	0.041	0.032	0.000	1.826	0.772	0.039	0.000	0.000	0.123	9.695	0.000	0.014	9.383	0.000	0.000	0.002
Lince punto 12	M3(B)	352464	6966525	1.933	1.922	10.996	0.001	0.063	0.029	0.129	0.292	0.262	0.000	0.000	0.050	21.038	0.000	0.050	1.090	0.001	0.000	0.012
Lince punto 12	M5(A)	352464	6966525	2.179	6.967	21.789	0.000	0.149	0.011	0.324	0.634	0.772	0.010	0.000	0.112	39.740	0.362	0.201	3.199	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M5(B)	352464	6966525	1.829	6.543	22.182	0.000	0.000	0.000	0.179	0.648	0.899	0.028	0.000	0.105	32.181	0.237	0.296	9.735	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M5©	352464	6966525	0.885	5.899	23.233	0.039	0.157	0.035	0.326	0.643	0.299	0.000	0.000	0.032	14.819	0.000	0.036	2.137	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M5(D)	352464	6966525	0.000	8.040	27.558	0.026	0.020	0.004	0.308	0.716	0.498	0.000	0.000	0.085	32.805	0.194	0.126	2.837	0.000	0.000	0.002
Lince punto 12	M7	352464	6966525	1.205	2.519	27.526	0.026	0.089	0.028	0.166	0.956	0.000	0.010	0.000	0.053	10.596	0.000	0.006	2.977	0.000	0.001	0.000
Lince punto 12	M9	352464	6966525	1.453	5.529	26.418	0.044	0.016	0.023	2.284	1.052	0.292	0.000	0.000	0.275	3.396	0.000	0.012	1.179	0.001	0.000	0.000
Lince punto 12	M8(A)	352464	6966525	0.000	3.826	40.214	0.064	0.037	0.027	1.312	1.118	0.056	0.000	0.000	0.201	0.678	0.008	0.011	6.337	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8(B)	352464	6966525	0.815	4.853	40.371	0.057	0.049	0.025	3.179	1.110	0.064	0.004	0.001	1.234	0.617	0.112	0.007	1.494	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8©	352464	6966525	0.000	3.876	34.248	0.100	0.094	0.036	0.406	1.157	0.102	0.026	0.002	6.766	1.423	1.011	0.041	4.985	0.000	0.001	0.000
Lince punto 12	M8(D)	352464	6966525	1.244	1.124	17.380	0.021	0.051	0.011	0.228	0.691	0.049	0.000	0.000	0.227	0.664	0.000	0.016	3.398	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8(E)	352464	6966525	0.000	3.087	32.460	0.061	0.043	0.039	0.190	1.636	0.049	0.006	0.005	2.776	2.374	0.372	0.042	4.530	0.000	0.002	0.000
Lince punto 12	M10(A)	352464	6966525	0.000	9.659	47.048	0.104	0.454	0.079	0.216	0.653	0.041	0.026	0.000	0.024	11.049	0.000	0.002	0.795	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M10(B)	352464	6966525	0.000	12.019	27.393	0.086	0.662	0.037	0.312	0.561	0.000	0.029	0.000	0.009	11.627	0.000	0.006	2.507	0.000	0.000	0.004
Lince punto 12	M10©	352464	6966525	0.000	17.427	34.701	0.150	1.224	0.011	0.561	0.686	0.010	0.009	0.000	0.012	6.629	0.000	0.004	0.736	0.001	0.000	0.000
Lince punto 12	M11(A)	352464	6966525	0.000	5.124	56.308	0.051	0.380	0.014	0.394	0.730	0.044	0.001	0.000	0.015	3.517	0.000	0.040	23.198	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M11(B)	352464	6966525	0.000	7.697	47.999	0.051	0.000	0.015	1.483	0.500	0.036	0.014	0.000	0.042	20.250	0.062	0.007	4.227	0.000	0.000	0.002
Lince punto 12	M11©	352464	6966525	1.218	12.501	57.778	0.067	0.208	0.066	3.151	0.674	0.036	0.005	0.000	0.011	5.158	0.000	0.000	0.985	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M11(D)	352464	6966525	0.000	8.878	50.238	0.194	0.206	0.040	2.400	0.466	0.225	0.003	0.000	0.000	1.785	0.000	0.000	0.517	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M11(E)	352464	6966525	0.000	5.499	38.958	0.023	0.284	0.037	0.215	0.807	0.066	0.022	0.015	0.042	23.216	0.079	0.011	10.133	0.000	0.000	0.003
Lince punto 12	M12(A)	352464	6966525	1.483	2.211	14.073	0.001	0.079	0.002	0.184	0.196	0.001	0.010	0.000	0.111	37.184	0.000	0.096	0.326	0.004	0.000	0.000
Lince punto 12	M12(B)	352464	6966525	0.000	3.100	35.373	0.027	0.000	0.068	0.157	0.561	0.018	0.001	0.000	0.334	20.807	0.348	0.108	53.829	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M12©	352464	6966525	0.000	8.093	52.846	0.045	0.102	0.027	4.419	0.315	0.014	0.003	0.003	0.006	3.774	0.000	0.002	0.127	0.001	0.000	0.000
Lince punto 12	M15(A)	352464	6966525	4.981	5.178	28.150	0.395	11.212	0.152	0.099	10.452	0.229	0.000	0.000	0.091	19.059	0.000	0.031	3.921	0.001	0.000	0.002
Lince punto 12	M15(B)	352464	6966525	2.267	5.375	9.797	0.842	53.585	0.096	0.112	4.774	0.081	0.051	0.000	0.036	48.930	0.155	0.062	8.749	0.026	0.000	0.006
Lince punto 12	M15©	352464	6966525	3.240	2.197	7.420	0.000	9.571	0.036	0.034	2.150	0.183	0.000	0.000	0.063	9.606	0.000	0.050	3.242	0.009	0.000	0.000
punto 14	M1(A)	339095	6978138	0.000	4.338	45.953	0.669	0.015	0.204	0.138	2.201	0.057	0.002	0	2.726	2.963	0.604	0.023	2.111	0.003	0.001	0
punto 14	M1(B)	339095	6978138	2.6480	3.6690	11.6830	0.6770	0.0000	0.7220	0.6410	2.1380	0.2570	0.0260	0.0000	2.0620	12.4130	0.5860	0.0290	2.0420	0.0010	0.0000	0.0000
punto 14	M1(C)	339095	6978138	1.593	4.776	23.949	0.085	0.021	0.339	0.000	4.990	0.373	0.002	0.000	0.383	6.318	0.000	0.017	2.543	0.000	0.000	0.000

punto 14	M3 (A)	339095	6978138	1.490	2.658	2.071	0.663	0.263	0.109	0.000	57.978	0.045	0.008	0.000	0.161	1.000	0.000	0.000	0.025	0.002	0.000	0.000
punto 14	M3(B)	339095	6978138	2.518	0.671	0.000	0.835	0.136	0.049	0.000	30.335	0.008	0.000	0.000	0.061	1.057	0.000	0.002	0.010	0.002	0.000	0.000
punto 14	M2 (A)	339095	6978138	3.354	0.726	2.316	0.001	0.332	0.075	0.000	9.438	0.006	0.000	0.000	0.027	11.304	0.000	0.025	0.031	0.006	0.000	0.000
punto 14	M2(B)	339095	6978138	5.381	1.579	14.156	0.103	0.030	0.034	0.031	3.327	0.000	0.039	0.000	0.209	41.130	0.284	0.035	0.070	0.005	0.000	0.000
punto 14	M4 (A)	339095	6978138	2.136	2.257	9.097	0.047	0.018	0.034	0.000	4.644	0.000	0.009	0.000	0.121	33.915	0.000	0.021	0.015	0.004	0.000	0.000
punto 14	M4(B)	339095	6978138	1.752	2.943	7.793	0.000	0.000	0.021	0.180	0.420	0.000	0.000	0.000	0.082	32.700	0.000	0.030	0.034	0.013	0.000	0.000
punto 14	M5	339095	6978138	2.509	1.074	0.000	0.648	0.097	0.132	0.000	57.135	0.087	0.000	0.000	0.133	0.776	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
punto 15	M2 CHICA	339090	6978410	1.721	0.552	1.777	0.000	0.000	0.077	0.000	0.267	0.000	0.000	0.000	0.147	18.293	0.000	0.044	0.014	0.004	0.000	0.000
punto 15	M2	339090	6978410	3.515	0.876	1.830	0.000	2.600	0.087	0.000	3.926	0.000	0.000	0.000	0.129	18.695	0.000	0.038	0.019	0.005	0.000	0.000
punto 15	M1(A)	339090	6978410	2.978	0.295	0.892	0.000	0.130	0.079	0.032	0.232	0.000	0.023	0.000	0.079	5.616	0.000	0.069	0.020	0.014	0.006	0.000
punto 15	M1(B)	339090	6978410	1.783	2.148	7.585	0.125	9.308	0.393	0.144	10.426	0.000	0.007	0.000	0.250	42.431	0.033	0.022	0.013	0.002	0.000	0.000
punto 15	M4(A)	339090	6978410	1.187	9.049	27.145	0.008	0.708	0.174	1.831	0.925	0.028	0.067	0.000	0.124	26.167	0.034	0.013	0.008	0.003	0.006	0.000
punto 15	M4(B)	339090	6978410	1.342	4.782	11.977	0.000	0.893	0.199	0.580	0.917	0.000	0.048	0.000	0.178	29.391	0.000	0.027	0.015	0.005	0.000	0.000
punto 15	M3(A)	339090	6978410	2.908	0.784	1.124	0.058	0.000	0.021	0.000	0.133	0.000	0.000	0.000	0.061	20.132	0.000	0.025	0.011	0.004	0.000	0.000
punto 15	M3(B)	339090	6978410	1.866	1.619	2.717	0.012	0.317	0.038	0.046	0.420	0.000	0.000	0.000	0.184	31.771	0.000	0.024	0.021	0.002	0.000	0.000
punto 16	M1(A)	339107	6978513	2.106	1.634	3.683	0.001	0.000	0.062	0.102	0.072	0.006	0.000	0.016	0.059	33.313	0.000	0.026	0.013	0.003	0.000	0.000
punto 16	M1(B)	339107	6978513	0.000	3.592	61.369	0.070	0.149	0.086	0.280	0.218	0.027	0.011	0.000	0.050	16.999	0.010	0.003	0.006	0.002	0.000	0.000
punto 16	M2 (A)	339107	6978513	0.000	1.389	7.172	0.168	0.753	20.687	0.000	0.790	0.000	0.000	0.000	0.043	21.362	0.251	0.018	0.008	0.002	0.000	0.000
punto 16	M2 (B)	339107	6978513	0.000	2.031	10.760	0.059	1.519	11.123	0.144	2.227	0.026	0.000	0.000	0.058	21.638	0.000	0.013	0.008	0.002	0.000	0.000
punto 16	M3(A)	339107	6978513	2.169	2.801	8.839	0.000	0.378	0.021	0.147	0.139	0.184	0.000	0.000	0.043	19.177	0.000	0.021	0.014	0.004	0.000	0.000
punto 16	M3(B)	339107	6978513	2.880	3.390	9.062	0.026	0.000	0.056	0.210	0.356	0.000	0.000	0.000	0.068	28.360	0.000	0.032	0.023	0.005	0.000	0.000
PUNTO 17	M1	349247	6972056	1.255	6.764	73.806	0.092	0.040	0.415	0.260	0.899	0.080	0.005	0.003	0.005	1.428	0.000	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000
PUNTO 17	M2	349247	6972056	2.294	16.597	56.636	0.042	0.063	0.092	0.169	0.682	0.152	0.010	0.000	0.028	14.639	0.019	0.003	0.005	0.001	0.000	0.000
PUNTO 17	M3(A)	349247	6972056	2.393	1.627	5.601	0.097	0.222	0.131	0.074	0.291	0.000	0.004	0.000	0.047	25.083	0.000	0.031	0.023	0.006	0.000	0.000
PUNTO 17	M3(B)	349247	6972056	1.990	3.954	13.672	0.261	0.335	0.227	0.108	0.533	0.023	0.027	0.000	0.058	30.920	0.000	0.013	0.037	0.002	0.000	0.000
PUNTO 17	M4(A)	349247	6972056	0.824	36.679	59.862	0.076	0.092	0.510	0.436	1.089	0.039	0.005	0.004	0.004	2.997	0.000	0.000	0.006	0.001	0.001	0.000
PUNTO 17	M4(B)	349247	6972056	0.593	8.819	50.649	0.059	0.066	0.109	0.272	0.178	0.073	0.005	0.000	0.006	1.559	0.000	0.001	0.006	0.001	0.000	0.000
PUNTO 17	M4@	349247	6972056	0.000	19.805	37.446	0.296	1.011	0.037	0.878	0.215	0.100	0.008	0.000	0.017	12.016	0.000	0.004	0.021	0.001	0.004	0.000
PUNTO 17	M5(A)	349247	6972056	1.054	8.441	23.686	0.014	0.000	0.526	0.265	1.069	0.182	0.007	0.000	0.025	14.085	0.000	0.009	0.011	0.003	0.000	0.000
PUNTO 17	M5(B)	349247	6972056	0.000	27.956	73.410	0.089	0.061	2.583	0.846	4.347	0.102	0.001	0.008	0.008	1.117	0.000	0.000	0.005	0.001	0.001	0.000
PUNTO 17	M6(A)	349247	6972056	1.444	4.607	27.089	0.049	0.173	0.050	0.172	0.647	0.105	0.000	0.000	0.005	2.122	0.000	0.005	0.007	0.002	0.000	0.000
PUNTO 17	M6(B)	349247	6972056	0.000	16.548	35.817	0.133	0.846	0.073	1.932	0.783	0.016	0.015	0.003	0.053	26.043	0.079	0.006	0.015	0.002	0.001	0.000
PUNTO 17	M7	349247	6972056	0.000	16.995	35.682	0.129	0.591	0.072	0.311	0.405	0.021	0.008	0.000	0.053	12.941	0.000	0.004	0.020	0.001	0.000	0.000
PUNTO 17	M8(A)	349247	6972056	2.822	1.669	10.989	0.125	0.118	0.085	0.101	0.335	0.000	0.000	0.000	0.044	24.319	0.000	0.017	0.036	0.003	0.000	0.000
PUNTO 17	M8(B)	349247	6972056	2.816	1.169	6.413	0.044	0.054	0.055	0.064	0.264	0.056	0.000	0.000	0.023	12.617	0.000	0.034	0.029	0.009	0.000	0.000
PUNTO 17	M9	349247	6972056	2.104	3.842	12.298	0.189	0.103	0.022	0.105	0.339	0.004	0.021	0.000	0.095	31.443	0.000	0.029	0.048	0.006	0.000	0.000
PUNTO 17	M10(A)	349247	6972056	2.146	4.796	19.440	0.000	8.114	0.004	1.884	0.951	0.013	0.000	0.000	0.047	28.914	0.000	0.021	0.047	0.004	0.000	0.000
PUNTO 17	M10(B)	349247	6972056	1.053	4.113	13.759	0.060	0.263	0.095	0.394	0.763	0.094	0.000	0.000	0.054	17.142	0.000	0.022	0.053	0.009	0.004	0.000
PUNTO 18	M1(A)	349680	6968501	1.114	8.699	41.258	0.226	0.017	0.034	0.298	16.102	0.104	0.013	0.000	0.421	20.112	0.023	0.007	0.055	0.020	0.005	0.000
PUNTO 18	M1(B)	349680	6968501	0.000	6.702	35.153	0.380	0.000	0.000	0.000	23.945	0.272	0.000	0.000	0.587	9.514	0.000	0.002	0.016	0.004	0.000	0.000
PUNTO 18	M2 (A)	349680	6968501	2.438	2.227	25.675	0.062	0.001	0.821	0.038	7.996	0.060	0.000	0.000	0.206	5.909	0.000	0.041	19.013	0.010	0.001	0.000
PUNTO 18	M2(B)	349680	6968501	2.522	2.851	15.027	0.000	0.000	6.358	0.076	5.358	0.090	0.000	0.000	0.754	4.723	0.306	0.433	48.508	0.100	0.003	0.000
PUNTO 18	M4(A)	349680	6968501	1.372	5.175	26.693	0.032	0.000	0.034	0.460	3.718	0.427	0.002	0.000	0.601	19.503	0.000	0.017	0.207	0.020	0.000	0.000

PUNTO 18	M4(B)	349680	6968501	2.186	1.733	7.174	0.000	0.000	0.027	0.092	0.653	0.251	0.000	0.000	0.124	18.626	0.000	0.032	0.249	0.022	0.000	0.000
PUNTO 18	M5(A)	349680	6968501	1.519	4.824	40.142	0.274	0.037	0.039	0.139	18.408	0.323	0.000	0.000	0.301	12.285	0.000	0.007	0.042	0.008	0.001	0.000
PUNTO 18	M5(B)	349680	6968501	1.570	10.796	42.372	0.163	0.000	0.035	2.339	8.072	0.318	0.006	0.000	0.242	9.878	0.000	0.006	0.045	0.016	0.000	0.000
PUNTO 18	M6(A)	349680	6968501	1.242	4.719	17.173	0.134	0.000	0.022	0.489	4.081	0.410	0.004	0.000	0.240	13.826	0.000	0.020	0.078	0.010	0.000	0.000
PUNTO 18	M6(B)	349680	6968501	1.654	7.125	32.508	0.053	0.001	0.044	0.975	3.117	0.048	0.004	0.000	0.173	18.041	0.000	0.024	0.222	0.022	0.000	0.000
PUNTO 18	M7(A)	349680	6968501	2.115	3.705	6.553	0.629	0.000	0.099	0.062	2.317	1.091	0.046	0.000	0.626	42.002	0.099	0.047	0.053	0.050	0.000	0.000
PUNTO 18	M7(B)	349680	6968501	1.416	5.657	11.956	0.963	0.188	0.777	0.255	1.591	0.320	0.000	0.000	0.756	35.642	0.076	0.024	0.100	0.069	0.000	0.000
PUNTO 18	M7©	349680	6968501	2.480	1.077	5.159	0.000	0.013	4.734	0.000	13.192	0.015	0.000	0.032	29.701	7.561	0.120	0.004	0.159	0.033	0.000	0.000
PUNTO 18	M8(A)	349680	6968501	1.708	8.068	16.540	0.021	0.190	1.370	0.135	0.653	0.279	0.023	0.000	0.259	24.572	0.000	0.025	0.035	0.069	0.001	0.000
PUNTO 18	M8(B)	349680	6968501	0.000	4.380	12.510	1.029	1.794	0.897	1.228	2.823	0.246	0.047	0.000	4.537	30.007	0.161	0.023	0.122	0.029	0.000	0.000
PUNTO 18	M9(A)	349680	6968501	3.318	5.171	19.619	0.035	0.035	0.023	0.224	1.227	0.588	0.046	0.000	0.273	32.686	0.034	0.032	0.042	0.028	0.004	0.000
PUNTO 18	M9(B)	349680	6968501	2.357	2.866	7.472	0.000	3.299	0.009	0.114	6.216	0.431	0.065	0.000	0.239	36.878	0.000	0.035	0.068	0.017	0.001	0.000
PUNTO 18	M10	349680	6968501	0.000	10.856	26.614	0.177	0.083	0.103	0.000	13.334	0.000	0.000	0.000	0.083	5.203	0.000	0.006	0.015	0.003	0.000	0.000
PUNTO 18	M11(A)	349680	6968501	1.938	1.317	19.541	0.012	0.042	0.023	0.107	1.288	0.170	0.000	0.000	2.301	1.125	1.125	0.260	4.248	0.034	0.000	0.000
PUNTO 18	M11(B)	349680	6968501	0.000	1.014	61.380	0.033	0.016	2.629	0.067	0.130	0.008	0.011	0.000	0.020	0.172	0.025	0.138	36.500	0.019	0.000	0.000
PUNTO 18	M11©	349680	6968501	1.478	6.377	42.709	0.052	0.046	0.104	0.835	2.143	0.392	0.008	0.000	0.259	3.182	0.024	0.035	4.459	0.003	0.000	0.000
PUNTO 19	M5(A)	350532	6967308	1.912	20.408	65.199	0.049	0.078	0.106	12.020	0.586	0.124	0.000	0.000	0.000	0.305	0.000	0.000	0.136	0.001	0.000	0.000
PUNTO 19	M5(B)	350532	6967308	0.904	6.775	31.925	0.024	0.098	0.085	3.636	0.541	0.124	0.000	0.000	0.000	0.885	0.000	0.006	0.684	0.002	0.000	0.000
PUNTO 19	M1(A)	350532	6967308	1.244	3.236	36.036	0.139	0.000	0.020	0.152	1.180	0.149	0.000	0.000	0.714	0.918	0.157	0.053	15.746	0.009	0.001	0.000
PUNTO 19	M1(B)	350532	6967308	0.821	2.032	26.319	0.045	0.027	0.026	0.448	0.874	0.000	0.000	0.000	0.000	0.692	0.000	0.019	5.974	0.000	0.000	0.000
PUNTO 19	M2(A)	350532	6967308	1.113	4.752	39.714	0.232	0.003	0.038	0.526	1.192	0.268	0.000	0.000	0.063	1.022	0.005	0.047	12.522	0.015	0.000	0.000
PUNTO 19	M2(B)	350532	6967308	0.000	4.312	41.596	0.385	0.000	0.006	0.310	1.179	0.201	0.000	0.000	0.071	0.984	0.005	0.062	22.050	0.019	0.001	0.000
PUNTO 19	M3(A)	350532	6967308	0.989	4.598	37.430	0.072	0.022	0.021	0.200	1.377	0.078	0.000	0.000	0.207	0.534	0.020	0.017	7.965	0.000	0.000	0.000
PUNTO 19	M3(B)	350532	6967308	0.991	3.003	28.452	0.058	0.006	0.043	0.291	1.129	0.052	0.000	0.000	0.023	0.341	0.000	0.032	11.110	0.000	0.000	0.000
PUNTO 19	M4(A)	350532	6967308	2.162	2.671	16.583	0.110	0.059	0.065	1.831	1.297	0.078	0.000	0.000	0.000	7.675	0.000	0.002	0.077	0.001	0.003	0.001
PUNTO 19	M4(B)	350532	6967308	0.972	6.928	26.331	0.016	0.049	0.060	1.182	1.248	0.039	0.000	0.000	0.000	8.192	0.000	0.004	0.126	0.001	0.007	0.002
PUNTO 19	M6(A)	350532	6967308	1.060	5.758	15.863	0.013	0.091	0.027	0.766	0.218	0.019	0.000	0.000	0.004	3.120	0.000	0.011	0.067	0.001	0.014	0.003
PUNTO 19	M6(B)	350532	6967308	0.988	17.983	40.274	0.055	0.191	0.028	2.303	0.586	0.044	0.012	0.000	0.016	10.326	0.000	0.003	0.073	0.001	0.025	0.001
PUNTO 19	M7(A)	350532	6967308	1.848	2.730	25.133	11.838	0.000	0.030	0.205	12.324	0.067	0.113	0.000	0.008	0.509	0.007	0.113	64.873	0.000	0.044	0.000
PUNTO 19	M7(B)	350532	6967308	18.902	55.538	0.117	0.099	0.039	0.454	3.539	0.033	0.001	0.001	0.006	1.230	0.000	0.000	0.123	0.000	0.000	0.000	0.000
PUNTO 19	M7©	350532	6967308	0.000	6.710	41.037	0.181	0.004	0.033	0.290	1.375	0.075	0.000	0.000	0.009	1.694	0.000	0.029	13.882	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M1	A	337479	6967502	3.937	12.223	18.637	0.024	0.000	0.540	0.000	3.507	0.193	0.167	0.000	0.014	5.509	0.000	0.017	1.311	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M1	B	337479	6967502	1.845	2.035	7.195	0.000	0.537	1.881	0.093	0.467	0.106	0.069	0.000	0.029	21.112	0.267	0.120	54.609	0.000	0.000	0.003
S2P1V1M1	C	337479	6967502	2.118	7.243	22.070	0.000	0.000	1.543	0.016	1.038	0.143	0.063	0.000	0.027	7.071	0.000	0.017	4.065	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M1	D	337479	6967502	2.467	3.652	6.909	0.000	1.313	5.292	0.005	2.072	0.000	0.087	0.000	0.036	19.775	0.102	0.057	26.785	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M1	E	337479	6967502	2.780	1.388	3.442	0.000	0.253	4.713	0.008	0.624	0.000	0.067	0.000	0.014	10.279	0.000	0.113	48.903	0.000	0.004	0.000
S2P1V1M2	A	337479	6967502	0.000	1.740	17.962	0.564	0.019	4.734	0.130	3.315	0.067	0.026	0.005	0.063	1.848	0.044	0.096	37.062	0.000	0.006	0.000
S2P1V1M2	B	337479	6967502	2.631	9.802	42.834	0.069	0.048	0.082	0.405	1.723	0.914	0.031	0.000	0.109	11.404	0.044	0.014	4.454	0.000	0.001	0.000
S2P1V1M3	A	337479	6967502	2.176	1.111	15.746	0.984	0.000	0.081	0.092	3.007	0.125	0.014	0.000	0.226	7.121	0.000	0.032	12.931	0.000	0.008	0.000
S2P1V1M3	B	337479	6967502	2.333	3.738	28.438	1.630	0.027	0.057	0.190	2.727	0.442	0.018	0.000	2.212	7.656	0.876	0.072	16.427	0.000	0.007	0.000
S2P1V1M3	C	337479	6967502	0.000	2.575	17.239	7.068	0.162	0.049	0.158	9.229	0.074	0.051	0.000	0.587	21.361	0.606	0.051	13.205	0.000	0.014	0.000
S2P1V1M4	A	337479	6967502	1.246	5.641	35.022	0.121	0.168	0.688	1.963	11.147	0.101	0.005	0.000	0.712	5.054	0.180	0.004	1.826	0.000	0.020	0.000
S2P1V1M4	B	337479	6967502	1.737	5.172	68.814	0.052	0.011	0.109	1.727	0.246	0.265	0.002	0.000	0.046	3.986	0.006	0.000	0.997	0.000	0.006	0.000

S2P1V1M4	C	337479	6967502	0.000	6.150	31.556	0.016	0.000	2.338	3.443	0.513	0.138	0.000	0.000	0.084	2.040	0.004	0.009	5.792	0.000	0.005	0.000
S2P1V1M5	A	337479	6967502	4.870	18.126	29.054	0.033	0.049	0.044	0.242	1.026	0.141	0.074	0.000	0.028	10.566	0.000	0.014	0.075	0.001	0.004	0.000
S2P1V1M5	B	337479	6967502	5.322	16.637	22.445	0.000	0.100	0.069	0.123	0.822	0.113	0.071	0.000	0.045	17.241	0.000	0.016	0.224	0.000	0.012	0.000
S2P1V1M6	A	337479	6967502	0.000	2.092	4.971	0.000	0.000	0.116	0.051	0.224	0.000	0.047	0.000	0.137	34.469	0.000	0.023	0.287	0.002	0.000	0.001
S2P1V1M6	B	337479	6967502	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M7	A	337479	6967502	0.000	8.553	24.513	0.000	0.834	0.247	1.281	1.170	0.071	0.028	0.000	0.045	22.785	0.000	0.009	7.588	0.000	0.000	0.001
S2P1V1M7	B	337479	6967502	1.905	1.881	22.346	0.045	0.000	0.295	0.319	0.658	0.010	0.020	0.000	0.015	11.891	0.000	0.040	32.119	0.000	0.008	0.000
S2P1V1M8	A	337479	6967502	2.310	9.488	14.169	0.052	0.000	0.729	0.000	7.117	0.168	0.026	0.000	0.682	5.897	0.545	0.051	2.537	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M8	B	337479	6967502	3.797	13.280	26.131	0.051	0.076	0.138	0.095	2.921	0.233	0.128	0.000	0.078	4.857	0.000	0.011	0.171	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M9	A	337479	6967502	2.169	4.342	8.551	0.000	0.053	0.109	0.061	0.653	0.067	0.029	0.000	0.021	11.478	0.000	0.018	0.112	0.000	0.024	0.000
S2P1V1M9	B	337479	6967502	2.514	4.601	7.816	0.000	0.016	0.096	0.022	0.595	0.034	0.040	0.000	0.030	13.376	0.000	0.020	0.124	0.000	0.025	0.000
S2P1V1M10	A	337479	6967502	2.329	4.660	9.119	0.032	0.012	0.312	0.351	0.251	0.000	0.000	0.000	0.175	19.454	0.000	0.036	0.221	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M10	B	337479	6967502	1.792	2.995	7.683	1.332	0.333	0.431	0.162	2.454	0.000	0.015	0.000	0.214	31.013	0.000	0.031	0.214	0.000	0.000	0.000
S2P1V1M11	A	337479	6967502	2.532	11.609	22.495	0.011	0.000	2.951	0.145	5.242	0.227	0.091	0.008	0.015	10.848	0.000	0.025	13.921	0.000	0.031	0.000
S2P1V1M12	A	337479	6967502	1.365	11.391	34.498	0.000	0.253	0.096	0.208	0.633	0.141	0.036	0.000	0.046	24.949	0.027	0.018	0.055	0.000	0.002	0.000
S2P1V1M12	B	337479	6967502	2.211	3.191	7.709	0.000	0.101	0.075	0.166	0.332	0.133	0.000	0.000	0.079	36.081	0.000	0.048	0.145	0.002	0.000	0.000
S2P1V1M13	A	337479	6967502	4.470	1.859	14.084	0.000	1.155	0.486	0.026	1.069	0.117	0.073	0.000	0.057	25.649	0.000	0.030	0.055	0.002	0.000	0.000
S2P1V1M14	A	337479	6967502	1.635	1.703	19.957	5.086	0.270	0.066	0.016	5.830	0.054	0.015	0.000	2.269	5.170	1.127	0.108	33.163	0.000	0.005	0.000
S2P1V1M14	B	337479	6967502	0.000	4.526	27.274	0.616	0.093	0.045	0.212	3.180	0.105	0.026	0.011	2.277	14.117	0.927	0.072	20.138	0.000	0.014	0.000
S2P1V1M14	C	337479	6967502	1.355	2.156	22.714	0.279	0.000	0.071	0.181	1.605	0.340	0.013	0.000	1.410	4.500	0.472	0.052	13.164	0.000	0.005	0.000
S2P1V1M14	D	337479	6967502	1.783	1.598	25.377	0.032	0.000	0.025	0.054	0.988	0.031	0.008	0.000	0.432	0.800	0.193	0.082	24.449	0.000	0.001	0.000
S2P2V2M1	A	338061	6967166	2.376	8.155	17.580	1.471	0.000	0.078	0.332	2.681	0.384	0.009	0.000	0.167	3.934	0.000	0.013	0.133	0.001	0.000	0.000
S2P2V2M1	B	338061	6967166	3.411	14.651	31.379	0.064	0.160	0.160	0.200	1.091	0.141	0.076	0.005	2.311	6.214	1.852	0.075	0.647	0.000	0.000	0.000
S2P2V2M2	A	338061	6967166	1.902	4.007	9.393	0.043	1.257	0.639	0.386	0.476	0.003	0.024	0.000	0.156	17.012	0.000	0.028	5.847	0.000	0.000	0.000
S2P2V2M2	B	338061	6967166	2.165	3.938	9.533	0.000	1.639	8.403	0.335	0.356	0.036	0.000	0.000	0.177	5.172	0.157	0.098	30.142	0.000	0.001	0.001
S2P2V2M3	A	338061	6967166	2.083	2.168	7.333	0.900	0.000	2.599	0.276	2.216	0.018	0.004	0.000	3.712	4.767	1.881	0.527	62.519	0.000	0.003	0.000
S2P2V2M3	B	338061	6967166	2.160	1.441	4.336	0.109	0.000	0.088	0.108	0.315	0.000	0.017	0.000	2.480	25.684	2.028	0.286	3.392	0.000	0.000	0.000
S2P2V2M3	C	338061	6967166	2.495	1.379	11.574	0.094	0.027	0.454	0.095	0.437	0.000	0.010	0.000	2.587	19.454	1.542	0.221	6.961	0.000	0.000	0.000
S2P2V2M4	A	338061	6967166	2.491	2.804	5.702	0.000	0.026	0.053	0.213	0.203	0.086	0.000	0.045	0.060	35.042	0.000	0.026	0.124	0.002	0.000	0.000
S2P2V2M4	B	338061	6967166	0.000	5.935	11.151	0.081	0.659	0.142	0.318	0.323	0.000	0.032	0.000	0.079	37.987	0.016	0.022	0.917	0.002	0.000	0.000
S2P2V2M5	A	338061	6967166	1.557	9.468	20.472	0.131	3.453	5.091	0.899	1.430	0.097	0.005	0.000	0.014	5.176	0.000	0.058	25.801	0.000	0.000	0.000
S2P2V2M5	B	338061	6967166	0.703	11.069	18.433	0.087	5.602	0.047	0.451	0.725	0.190	0.022	0.000	0.029	12.433	0.000	0.008	0.248	0.000	0.000	0.000
S2P2V2M6	A	338061	6967166	1.737	1.441	4.529	0.036	0.000	0.204	0.149	0.516	0.000	0.017	0.000	2.039	19.790	4.550	0.452	1.599	0.005	0.000	0.000
S2P2V2M6	B	338061	6967166	1.323	3.864	10.568	0.020	1.288	0.880	0.524	1.697	0.000	0.011	0.000	0.144	35.758	0.958	0.053	0.897	0.002	0.000	0.000
S2P2V2M7	A	338061	6967166	1.916	6.199	16.952	0.144	0.307	4.796	0.987	0.861	0.034	0.033	0.003	0.828	10.869	0.810	0.199	55.756	0.000	0.001	0.000
S2P2V2M7	B	338061	6967166	1.123	4.807	18.335	0.000	0.826	1.452	1.194	1.156	0.071	0.037	0.000	0.573	10.541	0.423	0.089	30.068	0.000	0.001	0.000
S2P2V2M8	A	338061	6967166	0.000	16.941	32.019	0.070	0.240	0.307	5.525	0.863	0.044	0.041	0.002	1.881	8.706	1.211	0.042	1.169	0.000	0.001	0.000
S2P2V2M8	B	338061	6967166	0.934	3.847	11.147	0.000	0.419	0.344	1.187	0.941	0.000	0.076	0.000	1.802	10.574	2.462	0.126	1.661	0.000	0.002	0.000
S2P2V2M9	A	338061	6967166	0.000	11.590	28.534	0.078	0.498	0.157	3.586	1.010	0.088	0.009	0.004	4.721	3.511	2.558	0.153	1.250	0.001	0.000	0.000
S2P2V2M9	B	338061	6967166	0.000	7.262	32.148	0.132	0.838	0.252	1.315	1.261	0.165	0.030	0.000	2.483	8.924	1.356	0.055	1.574	0.000	0.000	0.000
S2P2V2M10	A	338061	6967166	2.576	11.342	21.536	0.325	0.768	0.075	0.193	0.977	0.164	0.090	0.001	0.039	14.656	0.000	0.015	0.207	0.001	0.001	0.000
S2P2V2M10	B	338061	6967166	2.563	1.932	5.709	0.216	0.000	0.052	0.243	0.431	0.228	0.037	0.000	0.049	15.031	0.000	0.028	0.742	0.003	0.001	0.002
S2P3V2M1	A	338040.33	6967178.38	0.000	2.116	14.217	0.064	0.000	0.547	0.210	8.576	0.127	0.000	0.000	0.297	21.278	0.193	0.057	6.191	0.000	0.000	0.002

S2P3V2M1	B	338040.3	6967178.3	1.735	3.660	6.367	0.190	0.000	0.011	0.071	26.73	0.000	0.000	0.000	0.198	44.383	0.339	0.005	0.397	0.002	0.000	0.000
S2P3V2M2	A	338040.3	6967178.3	2.293	1.361	4.993	0.022	0.000	2.916	0.123	1.292	0.013	0.016	0.000	0.100	7.144	0.000	0.139	64.84	0.000	0.003	0.000
S2P3V2M3	A	338040.3	6967178.3	7.369	11.86	41.459	0.056	0.003	0.802	0.377	0.587	0.308	0.021	0.035	0.367	9.265	0.157	0.023	1.763	0.000	0.000	0.000
S2P3V2M3	B	338040.3	6967178.3	9.059	6.887	20.559	0.008	0.000	5.540	0.080	0.320	0.208	0.011	0.016	0.022	4.884	0.000	0.033	10.75	0.000	0.000	0.000
S2P3V2M4	A	338040.3	6967178.3	6.071	3.986	32.580	0.918	0.000	3.992	0.090	1.737	0.180	0.049	0.026	0.203	9.940	0.051	0.035	12.00	0.000	0.000	0.000
S2P3V2M4	B	338040.3	6967178.3	5.987	1.966	26.055	0.000	0.000	4.250	0.005	0.585	0.047	0.034	0.006	0.084	6.283	0.000	0.069	21.75	0.000	0.000	0.000
S2P3V2M5	A	338040.3	6967178.3	0.000	1.410	4.373	0.037	0.000	0.597	0.152	2.028	0.000	0.000	0.000	0.070	24.269	0.000	0.023	6.784	0.000	0.000	0.000
S2P3V2M6	A	338040.3	6967178.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074	37.037	0.000	0.000	8.219	0.000	0.000	0.000
S2P4V2M1	A	338298.1	6966896.6	4.737	12.89	50.270	0.285	0.099	0.052	1.381	4.817	1.147	0.021	0.000	0.065	6.577	0.002	0.003	0.047	0.003	0.003	0.000
S2P4V2M1	B	338298.1	6966896.6	1.729	8.033	30.017	0.127	0.010	0.065	0.425	5.274	0.507	0.001	0.000	0.042	2.656	0.000	0.002	0.018	0.003	0.000	0.000
S2P4V2M2	A	338298.1	6966896.6	2.318	3.040	14.547	0.063	0.728	1.332	0.245	1.408	0.234	0.023	0.000	0.158	3.555	0.002	0.053	6.948	0.000	0.000	0.000
S2P4V2M2	B	338298.1	6966896.6	4.343	6.512	25.526	0.001	1.176	1.246	0.793	1.561	0.181	0.011	0.000	0.045	5.095	0.000	0.015	4.107	0.000	0.000	0.000
S2P4V2M3	A	338298.1	6966896.6	2.346	2.982	26.755	0.000	2.613	0.053	0.253	2.752	0.005	0.004	0.008	0.038	21.923	0.000	0.011	0.102	0.004	0.000	0.000
S2P4V2M3	B	338298.1	6966896.6	3.541	3.433	10.286	0.089	0.000	0.024	0.154	1.556	0.000	0.013	0.000	0.083	43.082	0.286	0.018	0.446	0.002	0.000	0.005
S2P4V2M4	A	338298.1	6966896.6	2.513	9.059	16.312	0.283	0.000	0.022	0.511	0.446	0.153	0.022	0.000	0.766	42.648	0.836	0.039	0.446	0.004	0.000	0.000
S2P4V2M4	B	338298.1	6966896.6	0.000	9.381	16.404	0.333	0.000	0.064	0.359	2.716	0.075	0.008	0.000	0.398	44.200	0.495	0.028	0.133	0.002	0.000	0.000
S2P4V2M4	C	338298.1	6966896.6	2.269	13.57	33.477	1.637	0.185	0.206	2.050	5.072	0.659	0.018	0.000	0.526	6.785	0.113	0.007	0.144	0.004	0.001	0.000
S2P4V2M5	A	338298.1	6966896.6	2.069	2.954	14.966	0.000	0.447	4.335	0.160	1.633	0.000	0.005	0.002	0.149	7.382	0.052	0.060	17.92	0.000	0.000	0.000
S2P4V2M5	B	338298.1	6966896.6	0.000	8.022	29.337	0.000	0.385	3.958	0.293	2.700	0.033	0.003	0.004	0.011	1.234	0.097	0.055	17.25	0.000	0.000	0.000
S2P4V2M6	A	338298.1	6966896.6	1.401	13.24	37.970	0.219	0.767	0.425	0.398	3.601	0.000	0.027	0.007	2.372	3.223	1.291	0.075	3.714	0.000	0.007	0.000
S2P4V2M6	B	338298.1	6966896.6	1.559	5.338	49.059	0.150	0.000	0.402	0.647	2.644	0.000	0.052	0.000	0.403	3.135	0.484	0.040	2.479	0.000	0.005	0.000
S2P4V2M6	C	338298.1	6966896.6	2.126	2.220	19.446	0.000	1.106	1.556	0.293	1.408	0.021	0.032	0.000	0.173	1.979	1.138	0.104	8.413	0.000	0.015	0.000
S2P4V2M7	A	338298.1	6966896.6	1.463	5.510	18.967	0.095	0.146	0.067	0.632	1.074	0.061	0.011	0.000	0.065	24.452	0.000	0.013	1.236	0.000	0.000	0.000
S2P4V2M7	B	338298.1	6966896.6	3.042	5.450	16.155	0.079	0.040	0.073	0.467	1.142	0.052	0.007	0.000	0.075	28.473	0.000	0.016	0.858	0.005	0.000	0.003
S2P4V2M8	A	338298.1	6966896.6	2.282	2.673	9.379	0.121	0.200	0.071	0.225	2.216	0.014	0.458	0.000	0.071	19.938	0.000	0.018	0.434	0.001	0.152	0.000
S2P4V2M8	B	338298.1	6966896.6	2.110	2.985	9.180	3.051	0.000	0.011	0.137	7.076	0.000	0.094	0.000	0.074	25.495	0.377	0.030	0.459	0.006	0.078	0.002
S2P4V2M8	C	338298.1	6966896.6	3.103	3.547	12.208	0.345	0.428	0.154	0.241	1.274	0.000	0.349	0.000	0.085	30.942	0.369	0.026	0.484	0.002	0.212	0.000
S2P4V2M9	A	338298.1	6966896.6	3.083	7.943	31.252	0.038	1.107	0.120	1.135	2.315	0.275	0.019	0.000	0.317	20.798	0.356	0.021	0.633	0.004	0.002	0.002
S2P4V2M9	B	338298.1	6966896.6	1.733	1.793	15.195	0.043	0.130	0.018	0.149	4.913	0.161	0.011	0.000	0.096	14.812	0.000	0.012	0.755	0.000	0.013	0.004
S2P4V2M9	C	338298.1	6966896.6	1.779	7.471	36.163	0.042	0.574	0.067	1.893	1.270	2.533	0.000	0.000	0.055	4.551	0.000	0.003	0.137	0.008	0.003	0.000
S2P4V2M10	A	338298.1	6966896.6	0.993	7.967	23.559	0.004	0.000	2.788	2.727	0.617	0.067	0.015	0.000	1.197	2.419	0.206	0.028	8.820	0.000	0.006	0.000
S2P4V2M10	B	338298.1	6966896.6	1.178	8.020	21.650	0.016	0.000	3.452	2.616	0.319	0.141	0.010	0.000	0.020	1.526	0.000	0.021	8.237	0.000	0.002	0.000
S2P4V2M11	A	338298.1	6966896.6	1.629	3.789	37.336	0.012	0.074	0.132	0.220	0.409	0.000	0.011	0.000	0.069	32.279	0.354	0.011	0.771	0.002	0.000	0.024
S2P4V2M11	B	338298.1	6966896.6	1.150	1.633	46.151	0.034	0.065	0.108	0.140	0.257	0.000	0.012	0.000	0.053	19.915	0.017	0.005	0.492	0.003	0.000	0.004
S2P4V2M11	C	338298.1	6966896.6	0.000	5.071	33.974	0.057	0.256	0.494	0.385	0.533	0.000	0.020	0.000	0.080	33.695	0.349	0.024	4.124	0.000	0.000	0.030
S2P4V2M12	A	338298.1	6966896.6	1.996	3.896	15.648	0.073	0.041	0.130	0.131	9.503	0.025	0.018	0.000	0.122	24.512	0.289	0.020	0.435	0.002	0.001	0.002
S2P4V2M12	B	338298.1	6966896.6	1.738	1.178	14.217	0.000	22.95	0.055	0.157	16.22	0.005	0.005	0.000	0.131	14.426	0.041	0.009	0.411	0.001	0.004	0.002
S2P4V2M13	A	338298.1	6966896.6	2.267	2.374	15.305	0.079	0.000	0.039	0.139	0.359	0.037	0.000	0.000	0.037	13.235	0.000	0.029	5.558	0.000	0.000	0.000
S2P4V2M13	B	338298.1	6966896.6	1.906	2.132	10.491	0.004	0.000	0.478	0.202	0.179	0.010	0.000	0.000	0.027	12.675	0.000	0.031	8.543	0.000	0.000	0.000
S2P4V2M13	C	338298.1	6966896.6	2.403	4.807	10.929	0.140	0.000	0.040	0.627	0.323	0.000	0.016	0.000	0.024	12.944	0.000	0.017	0.286	0.002	0.000	0.000
S2P5V1M1	A	338376.5	6966148.3	1.920	2.763	11.474	0.025	0.000	0.128	0.213	0.776	0.000	0.004	0.000	0.103	29.077	0.090	0.038	14.82	0.000	0.000	0.000
S2P5V1M1	B	338376.5	6966148.3	2.056	2.690	27.191	0.039	0.029	0.140	0.197	0.740	0.021	0.033	0.000	0.080	3.538	0.064	0.102	44.05	0.000	0.003	0.000
S2P5V1M2	A	338376.5	6966148.3	2.447	2.148	11.674	0.346	0.000	1.042	0.161	1.980	0.000	0.047	0.000	1.844	24.408	2.434	0.144	3.446	0.000	0.000	0.000

S2P5V1M2	B	338376.5 1	6966148.3 1	4.077	4.157	28.212	4.576	0.000	0.180	0.272	13.56 6	0.051	0.048	0.000	0.293	6.294	0.188	0.019	0.951	0.000	0.000	0.000
S2P5V1M2	C	338376.5 1	6966148.3 1	2.159	1.531	16.274	0.293	0.000	2.532	0.113	1.477	0.000	0.017	0.000	1.282	14.527	1.159	0.091	14.57 6	0.000	0.000	0.000
S2P5V1M3	A	338376.5 1	6966148.3 1	3.080	2.975	9.097	0.089	0.000	0.141	0.205	6.291	0.000	0.000	0.000	0.238	24.480	0.038	0.043	2.124	0.000	0.000	0.000
S2P5V1M3	B	338376.5 1	6966148.3 1	2.961	3.214	9.367	0.051	0.000	0.423	0.203	8.862	0.000	0.000	0.000	0.080	25.231	0.132	0.055	11.18 8	0.000	0.000	0.002
S2P5V1M4	A	338376.5 1	6966148.3 1	1.549	2.308	8.602	0.000	0.000	0.127	0.141	0.597	0.045	0.028	0.000	0.016	8.920	0.000	0.014	0.077	0.001	0.014	0.000
S2P5V2M1	A	338400.4 2	6966154.2 8	1.219	0.779	27.270	0.105	0.174	1.330	0.062	2.264	0.000	0.039	0.000	0.071	6.084	0.287	0.027	4.328	0.000	0.010	0.000
S2P5V2M1	B	338400.4 2	6966154.2 8	0.000	2.315	26.280	0.171	0.091	1.627	0.689	12.38 8	0.004	0.027	0.003	0.034	7.160	0.045	0.010	5.236	0.000	0.006	0.000
S2P5V2M1	C	338400.4 2	6966154.2 8	1.921	2.367	33.287	0.245	0.393	0.260	0.129	14.13 7	0.000	0.011	0.000	0.050	23.659	0.050	0.003	0.169	0.001	0.000	0.000
S2P5V2M2	A	338400.4 2	6966154.2 8	1.781	2.733	17.334	0.035	0.000	1.183	0.936	0.863	0.130	0.000	0.000	5.410	2.975	5.482	0.238	2.979	0.000	0.000	0.000
S2P5V2M2	A*	338400.4 2	6966154.2 8	1.229	2.608	17.199	0.034	0.000	1.192	0.962	0.857	0.138	0.000	0.000	5.408	2.990	5.492	0.239	3.094	0.000	0.000	0.000
S2P5V2M2	B	338400.4 2	6966154.2 8	2.424	1.634	8.187	0.014	0.018	0.302	0.565	0.308	0.087	0.007	0.000	0.317	2.500	0.000	0.029	0.601	0.000	0.000	0.000
S2P5V2M2	C	338400.4 2	6966154.2 8	1.433	4.103	14.412	0.040	0.112	0.540	1.715	0.843	0.099	0.000	0.000	2.978	3.447	7.316	0.510	2.471	0.001	0.000	0.000
S2P5V2M3	A	338400.4 2	6966154.2 8	0.000	4.179	7.954	0.307	11.13 3	0.335	0.433	12.03 4	0.000	0.002	0.000	0.095	39.490	0.136	0.020	0.507	0.001	0.012	0.000
S2P5V2M3	B	338400.4 2	6966154.2 8	2.173	1.499	10.371	0.076	0.362	0.380	0.088	1.072	0.000	0.014	0.000	0.073	20.885	0.000	0.008	0.231	0.000	0.015	0.000
S2P5V3M1	A	338481.7 3	6966209.5 2	1.948	1.625	4.787	0.080	0.141	0.324	0.108	0.362	0.000	0.055	0.000	0.078	37.392	0.051	0.031	6.123	0.000	0.000	0.110
S2P5V3M1	B	338481.7 3	6966209.5 2	2.676	1.522	17.787	0.000	0.000	7.194	0.099	0.543	0.016	0.002	0.007	0.016	1.687	0.050	0.268	87.33 8	0.000	0.000	0.000
S2P5V3M2	A	338481.7 3	6966209.5 2	3.809	1.756	20.590	0.255	0.000	0.540	0.079	0.964	0.070	0.058	0.000	0.022	4.751	0.000	0.054	17.35 0	0.000	0.000	0.002
S2P5V3M3	A	338481.7 3	6966209.5 2	2.811	4.271	10.820	0.327	0.583	0.585	0.232	1.724	0.013	0.010	0.042	23.13 0	2.826	15.48 0	0.784	17.80 0	0.000	0.000	0.000
S2P5V3M3	A*	338481.7 3	6966209.5 2	0.000	4.128	10.920	0.287	0.646	0.595	0.257	1.784	0.016	0.017	0.042	23.13 9	2.852	15.45 4	0.820	18.75 7	0.000	0.000	0.000
S2P5V3M3	B	338481.7 3	6966209.5 2	1.661	2.273	32.097	0.000	1.468	0.621	0.178	0.843	0.345	0.027	0.000	0.030	3.580	0.000	0.021	13.75 0	0.000	0.000	0.000
S2P5V3M4	A	338481.7 3	6966209.5 2	1.708	1.618	19.774	0.000	0.068	1.295	0.165	0.933	0.000	0.001	0.000	0.476	1.185	0.395	0.092	18.47 3	0.000	0.000	0.000
S2P5V3M4	B	338481.7 3	6966209.5 2	1.402	2.542	27.329	0.017	0.021	1.245	0.866	0.621	0.000	0.006	0.000	0.605	2.022	0.479	0.041	7.056	0.000	0.000	0.000
S2P5V3M5	A	338481.7 3	6966209.5 2	2.041	0.880	3.419	0.071	0.109	0.677	0.000	13.37 4	0.003	0.006	0.000	1.043	3.681	0.623	0.050	2.304	0.000	0.000	0.000
S2P5V3M5	B	338481.7 3	6966209.5 2	3.293	1.945	6.195	0.035	0.383	1.365	0.034	7.738	0.000	0.029	0.000	2.523	13.522	1.662	0.112	3.480	0.000	0.001	0.001
S2P5V3M5	C	338481.7 3	6966209.5 2	1.430	4.479	24.750	0.000	0.584	0.691	0.229	7.057	0.021	0.006	0.013	6.861	6.399	3.609	0.142	7.267	0.000	0.001	0.000
S2P5V3M6	A	338481.7 3	6966209.5 2	1.357	0.762	29.954	0.095	0.064	0.098	0.203	0.258	0.000	0.021	0.000	0.063	9.903	0.000	0.014	2.223	0.000	0.003	0.000
S2P5V3M6	B	338481.7 3	6966209.5 2	0.000	2.230	45.210	0.235	0.699	0.692	0.600	1.082	0.014	0.013	0.000	0.529	9.676	0.205	0.031	1.038	0.000	0.001	0.000
S2P6V1M1	A	337785.2 6	6966387.1 3	2.144	5.487	17.144	0.051	0.000	0.002	0.058	1.655	0.000	0.008	0.000	0.061	23.528	0.000	0.018	1.115	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M1	B	337785.2 6	6966387.1 3	2.260	1.801	8.821	0.081	0.000	0.046	0.043	2.141	0.000	0.000	0.000	0.035	17.992	0.000	0.020	1.086	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M2	A	337785.2 6	6966387.1 3	1.829	0.558	1.230	0.000	21.09 6	2.588	0.000	14.40 1	0.028	0.000	0.017	0.011	1.529	0.000	0.059	17.53 2	0.003	0.000	0.000
S2P6V1M2	B	337785.2 6	6966387.1 3	2.420	1.272	0.275	0.440	0.065	0.067	0.000	42.53 0	0.000	0.000	0.000	0.246	4.121	0.000	0.000	0.785	0.001	0.000	0.000
S2P6V1M2	C	337785.2 6	6966387.1 3	2.970	0.280	0.853	0.086	0.027	0.044	0.000	9.909	0.000	0.013	0.000	0.056	6.482	0.000	0.016	0.228	0.002	0.000	0.000
S2P6V1M3	A	337785.2 6	6966387.1 3	2.244	1.969	6.364	0.015	0.000	0.059	0.100	1.057	0.000	0.000	0.000	0.059	18.952	0.000	0.029	0.196	0.004	0.000	0.000
S2P6V1M3	B	337785.2 6	6966387.1 3	3.987	1.391	10.543	0.000	1.174	0.587	0.000	12.08 5	0.000	0.000	0.000	0.027	10.716	0.000	0.014	9.816	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M4	A	337785.2 6	6966387.1 3	0.000	2.915	19.337	0.383	0.103	3.509	0.277	2.125	0.107	0.003	0.000	0.296	4.501	0.332	0.184	45.64 9	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M4	B	337785.2 6	6966387.1 3	2.260	9.871	31.390	0.206	0.011	0.460	2.899	0.636	0.042	0.000	0.000	0.550	7.394	0.854	0.042	2.370	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M4	C	337785.2 6	6966387.1 3	0.000	9.282	37.183	0.313	0.251	0.191	1.621	1.359	0.350	0.000	0.000	0.223	6.138	0.147	0.021	7.422	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M5	A	337785.2 6	6966387.1 3	1.997	2.283	12.972	0.042	0.000	7.121	0.076	0.605	0.019	0.010	0.009	0.377	5.678	0.912	0.220	46.09 9	0.000	0.010	0.000
S2P6V1M5	B	337785.2 6	6966387.1 3	2.393	2.713	11.216	0.047	0.015	0.318	0.067	2.051	0.081	0.011	0.000	0.750	12.083	0.725	0.093	3.167	0.000	0.011	0.000
S2P6V1M5	C	337785.2 6	6966387.1 3	0.000	1.941	10.844	0.384	0.000	11.34 0	0.077	0.770	0.023	0.013	0.010	0.168	1.203	0.423	0.318	79.36 5	0.000	0.005	0.000
S2P6V1M6	A	337785.2 6	6966387.1 3	2.964	5.675	30.672	0.721	0.172	0.084	0.261	29.70 0	0.078	0.013	0.000	0.444	8.840	0.102	0.005	0.479	0.002	0.000	0.000
S2P6V1M6	B	337785.2 6	6966387.1 3	3.310	1.181	0.962	0.010	0.000	0.039	0.000	5.276	0.000	0.000	0.364	0.000	26.729	0.000	0.033	0.036	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M6	C	337785.2 6	6966387.1 3	2.749	1.308	1.526	0.000	0.000	0.070	0.000	3.402	0.000	0.000	0.003	0.086	31.521	0.000	0.035	0.083	0.002	0.000	0.001

S2P6V1M7	A	337785.2 6	6966387.1 3	0.000	2.679	17.633	0.636	16.83 8	0.800	0.015	12.65 0	0.012	0.000	0.008	0.239	4.996	0.147	0.017	2.313	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M8	A	337785.2 6	6966387.1 3	0.000	0.869	2.533	0.000	19.48 8	0.694	0.006	11.75 6	0.000	0.000	0.000	0.016	16.163	0.000	0.006	0.621	0.000	0.000	0.000
S2P6V1M8	B	337785.2 6	6966387.1 3	2.055	2.739	6.664	0.412	4.230	1.075	0.176	2.847	0.000	0.000	0.000	0.080	29.685	0.000	0.018	9.162	0.000	0.000	0.004
S2P6V1M8	C	337785.2 6	6966387.1 3	2.258	1.255	5.748	0.000	4.459	0.187	0.049	3.899	0.000	0.000	0.001	0.048	23.201	0.000	0.015	0.737	0.000	0.000	0.001
S2P6V1M9	A	337785.2 6	6966387.1 3	6.416	22.62 9	34.860	0.099	0.196	0.102	0.215	0.913	0.161	0.110	0.002	0.038	8.349	0.000	0.019	0.071	0.001	0.003	0.000

Punto o mina	Muestras	Este	Norte	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Rh.	Pd	Pd.	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	La	Ce	Hf	Hf.
Lince punto 12	M13(A)	352464	6966525	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M13(B)	352464	6966525	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	270.000	0.027
Lince punto 12	M14X1	352464	6966525	0.007	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	70.000	0.007
Lince punto 12	M14X2 (A)	352464	6966525	0.002	0.003	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	200.000	0.020
Lince punto 12	M14x2 (B)	352464	6966525	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M6	352464	6966525	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M1(A)	352464	6966525	0.008	0.014	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M1(B)	352464	6966525	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M3(A)	352464	6966525	0.011	0.013	0.001	0.003	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.304	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M3(B)	352464	6966525	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M5(A)	352464	6966525	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M5(B)	352464	6966525	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.000	0.002
Lince punto 12	M5©	352464	6966525	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M5(D)	352464	6966525	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M7	352464	6966525	0.003	0.029	0.000	0.017	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M9	352464	6966525	0.009	0.028	0.001	0.005	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.190	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8(A)	352464	6966525	0.006	0.011	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.182	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8(B)	352464	6966525	0.007	0.013	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8©	352464	6966525	0.007	0.011	0.001	0.004	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.113	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8(D)	352464	6966525	0.006	0.009	0.001	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.010	0.000	0.172	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8 (E)	352464	6966525	0.001	0.011	0.003	0.003	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M10(A)	352464	6966525	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.127	0.000	0.000
Lince punto 12	M10(B)	352464	6966525	0.000	0.109	0.000	0.012	0.000	0.055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.094	0.107	0.000	0.000
Lince punto 12	M10©	352464	6966525	0.003	0.083	0.001	0.010	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.164	10.000	0.001
Lince punto 12	M11(A)	352464	6966525	0.000	0.004	0.002	0.001	0.000	0.128	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1130.000	0.113
Lince punto 12	M11(B)	352464	6966525	0.000	0.006	0.000	0.003	0.000	0.613	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M11©	352464	6966525	0.005	0.015	0.000	0.004	0.000	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M11(D)	352464	6966525	0.005	0.021	0.000	0.004	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.078	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M11 (E)	352464	6966525	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.524	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M12(A)	352464	6966525	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M12(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.441	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M12©	352464	6966525	0.011	0.007	0.001	0.002	0.000	0.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	10.000	0.001
Lince punto 12	M15(A)	352464	6966525	0.000	0.024	0.004	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	190.000	0.019
Lince punto 12	M15(B)	352464	6966525	0.003	0.016	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	120.000	0.012
Lince punto 12	M15©	352464	6966525	0.000	0.013	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	240.000	0.024
punto 14	M1 (A)	339095	6978138	0	0.013	0.024	0.002	0	0	0.000	0	0.000	0	0	0	0	0	0.025	0	0.115	0.000	0
punto 14	M1(B)	339095	6978138	0.0140	0.0340	0.0090	0.0100	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0230	0.0000	0.0930	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
punto 14	M1(C)	339095	6978138	0.000	0.069	0.023	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	40.000	0.004











S2P6V1 M7	A	337785 .26	6966387 .13	0.00 0	0.00 7	0.00 2	0.00 0	0.00 0	0.00 6	0.0 00	0	0.0 00	0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.19 7	150.00 0	0.01 5	
S2P6V1 M8	A	337785 .26	6966387 .13	0.00 2	0.00 3	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 2	0.0 00	0	0.0 00	0	0.00 0	0.00 0	0.01 5	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.91 1	0.000 0	0.00 0
S2P6V1 M8	B	337785 .26	6966387 .13	0.00 5	0.00 0	0.00 5	0.00 3	0.00 0	0.09 9	0.0 00	0.00 0	0.0 00	0	0.00 0	0.00 0	0.00 9	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	450.00 0	0.04 5
S2P6V1 M8	C	337785 .26	6966387 .13	0.00 2	0.03 2	0.00 2	0.00 4	0.00 0	0.00 9	0.0 00	0	0.0 00	0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.000 0	0.00 0
S2P6V1 M9	A	337785 .26	6966387 .13	0.00 0	0.03 1	0.00 3	0.00 4	0.00 0	0.00 4	0.0 00	0	0.0 00	0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.03 0	0.00 0	0.00 0	30.000 0	0.00 3	
S2P6V1 M9	B	337785 .26	6966387 .13	0.00 0	0.01 0	0.01 9	0.00 2	0.00 0	0.00 0	0.0 00	0.00 0	0.0 00	0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.000 0	0.00 0	

Punto o mina	Muestras	Este	Norte	Ta	W	Pt	Pt.	Au	Au.	Hg	TI	TI.	Pb	Bi	Th	U
Lince punto 12	M13(A)	352464	6966525	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.068	0.000	0.000
Lince punto 12	M13(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.023	0.000	0.000
Lince punto 12	M14X1	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.016	0.000	0.000
Lince punto 12	M14X2 (A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.006	0.000	0.000
Lince punto 12	M14x2(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.005	0.000	0.000
Lince punto 12	M6	352464	6966525	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.031	0.000	0.000
Lince punto 12	M1(A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.015	0.000	0.000
Lince punto 12	M1(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000
Lince punto 12	M3(A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000
Lince punto 12	M3(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.020	0.000	0.000
Lince punto 12	M5(A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.058	0.043	0.000	0.000
Lince punto 12	M5(B)	352464	6966525	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.029	0.000	0.000
Lince punto 12	M5©	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M5(D)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.031	0.000	0.000
Lince punto 12	M7	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M9	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8(A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000
Lince punto 12	M8(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8©	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000
Lince punto 12	M8(D)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M8( E )	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M10(A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Lince punto 12	M10(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.001	0.000
Lince punto 12	M10©	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M11(A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.086
Lince punto 12	M11(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.005	0.000	0.026
Lince punto 12	M11©	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
Lince punto 12	M11(D)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M11( E )	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.004	0.006	0.358
Lince punto 12	M12(A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.061	0.041	0.000	0.000
Lince punto 12	M12(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.080	0.242
Lince punto 12	M12©	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M15(A)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
Lince punto 12	M15(B)	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.005	0.000	0.000

Lince punto 12	M15©	352464	6966525	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
punto 14	M1 (A)	339095	6978138	0	0	0.000	0	0.000	0	0	0.000	0	0	0	0	0
punto 14	M1(B)	339095	6978138	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000
punto 14	M1(C)	339095	6978138	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
punto 14	M3 (A)	339095	6978138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
punto 14	M3(B)	339095	6978138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
punto 14	M2 (A)	339095	6978138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000
punto 14	M2(B)	339095	6978138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.056	0.042	0.000	0.000
punto 14	M4 (A)	339095	6978138	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	0.005	0.004	0.000	0.000	0.041	0.027	0.000	0.000
punto 14	M4(B)	339095	6978138	0.000	0.000	0.000	0.000	20.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.071	0.046	0.000	0.000
punto 14	M5	339095	6978138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
punto 15	M2 CHICA	339090	6978410	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	0.005	0.004	0.000	0.000	0.044	0.019	0.000	0.000
punto 15	M2	339090	6978410	0.000	0.003	0.000	0.000	10.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.045	0.018	0.000	0.000
punto 15	M1(A)	339090	6978410	0.000	0.000	0.000	0.000	40.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
punto 15	M1(B)	339090	6978410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.014	0.000	0.000
punto 15	M4(A)	339090	6978410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.010	0.000	0.000
punto 15	M4(B)	339090	6978410	0.000	0.000	0.000	0.000	40.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.046	0.029	0.000	0.000
punto 15	M3(A)	339090	6978410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.017	0.000	0.000
punto 15	M3(B)	339090	6978410	0.000	0.000	0.000	0.000	10.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.065	0.038	0.000	0.000
punto 16	M1(A)	339107	6978513	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.002
punto 16	M1(B)	339107	6978513	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.014	0.009	0.000	0.000
punto 16	M2 (A)	339107	6978513	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.005	0.000	0.000
punto 16	M2 (B)	339107	6978513	0.000	0.000	0.000	0.000	30.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.026	0.010	0.000	0.000
punto 16	M3(A)	339107	6978513	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	0.005	0.003	0.000	0.000	0.063	0.041	0.000	0.000
punto 16	M3(B)	339107	6978513	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PUNTO 17	M1	349247	6972056	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.000	0.000
PUNTO 17	M2	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	60.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.047	0.024	0.000	0.000
PUNTO 17	M3(A)	349247	6972056	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.016	0.000	0.000
PUNTO 17	M3(B)	349247	6972056	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
PUNTO 17	M4(A)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PUNTO 17	M4(B)	349247	6972056	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
PUNTO 17	M4©	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000
PUNTO 17	M5(A)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PUNTO 17	M5(B)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PUNTO 17	M6(A)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.008	0.000	0.000
PUNTO 17	M6(B)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.000	0.000
PUNTO 17	M7	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.031	0.024	0.000	0.000
PUNTO 17	M8(A)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.008	0.000	0.000
PUNTO 17	M8(B)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.028	0.000	0.000
PUNTO 17	M9	349247	6972056	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.019	0.006	0.000
PUNTO 17	M10(A)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.015	0.000	0.000
PUNTO 17	M10(B)	349247	6972056	0.000	0.000	0.000	0.000	10.000	0.001	0.002	30.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000
PUNTO 18	M1(A)	349680	6968501	0.000	0.000	0.000	0.000	10.000	0.001	0.002	30.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000









