

Minería de datos para establecer el control de calidad del logueo geológico en Antamina

Categoría: Geología y Exploraciones

Ángel Ríos Espinoza¹, David Velazco Infante², Rosa Palacios Ancajima³

¹ Compañía Minera Antamina, Av. EL Derby 055, Surco, Lima, Perú (arios@antamina.com, ariosgeo@gmail.com)

² Compañía Minera Antamina, Av. EL Derby 055, Surco, Lima, Perú (dvelazco@antamina.com, da_velazco@hotmail.com)

³ Compañía Minera Antamina, Av. EL Derby 055, Surco, Lima, Perú (ropalacios@antamina.com, rosapalacios.ancajima@gmail.com)

RESUMEN

Antamina es un depósito polimetálico de cobre, zinc, plata, plomo, molibdeno y oro ubicado en el departamento de Ancash, Perú, sobre 4,000 m de elevación. El depósito se formó por la intrusión de stocks, de composición principalmente cuarzo-monzonítica, en las formaciones Jumasha y Celendín, lo que generó el desarrollo de un skarn gigante de aproximadamente 3.0 km de largo por 1.5 km de ancho.

Se han perforado más de un millón de metros de sondajes diamantinos, habiéndose identificado 179 variedades litológicas clasificadas según los componentes mineralógicos, tamaño de grano de los granates y grado de brechamiento. Al ser el logueo geológico una actividad subjetiva, basada en la experiencia y habilidad del geólogo, fue necesario establecer un mecanismo de control de calidad del logueo geológico basado en datos objetivos con la finalidad de identificar posibles errores en dicho proceso, para lo cual se evaluó el comportamiento de las diferentes unidades litológicas en relación con las 43 leyes reportadas en los análisis geoquímicos practicados a las muestras de sondajes.

Se realizó minería de datos para descubrir patrones de leyes por grupos de unidades litológicas y se encontró que el estroncio podía servir para diferenciar el exoskarn (valores menores a 50 ppm) del mármol y hornfels (valores mayores a 50 ppm), mientras que el calcio y potasio podían servir para diferenciar el intrusivo (valores menores a 2% y mayores a 0.15% respectivamente) del endoskarn (valores mayores a 2% y menores a 0.15% respectivamente). Con dicha definición se identificaron aquellos intervalos que requerían ser relogueados y se estableció un mecanismo de alertas por correo electrónico que son

enviadas automáticamente cuando se reciben las leyes, de aquellos intervalos en los sondajes recientes, donde no se cumplen los patrones descritos anteriormente.

1. Introducción

Antamina es una de las minas de cobre zinc más grandes del mundo, cuyo inventario de recursos minerales está basado en la correcta interpretación del modelo geológico, construido a partir de la descripción geológica de los testigos de los sondajes diamantinos.

A octubre del 2018 se tenían más de un millón de metros de testigos de sondajes diamantinos, en los cuales se han descrito 179 variedades litológicas clasificadas según los componentes mineralógicos, tamaño de grano de los granates y grado de brechamiento, variedades que a su vez se han agrupadas en 20 unidades litológicas. Estos mismos testigos generalmente fueron ensayados por 43 elementos.

Durante la estimación de recursos uno de los aspectos más importantes es, fijar desde el punto de vista económico, el límite entre mineral y desmonte. En Antamina, 98% del mineral se encuentra dentro del skarn y solo 2% se encuentra en el intrusivo, mientras que ningún bloque de mineral se encuentra en el mármol, hornfels o caliza por lo que al grupo que incluye estas tres últimas unidades litológicas se le llama desmonte. Por estas consideraciones es que se requiere que el logueo geológico sea preciso, sobre todo en el límite entre el skarn y las rocas adyacentes.

La Figura 1, muestra la interpretación de los grupos de unidades litológicas existentes.

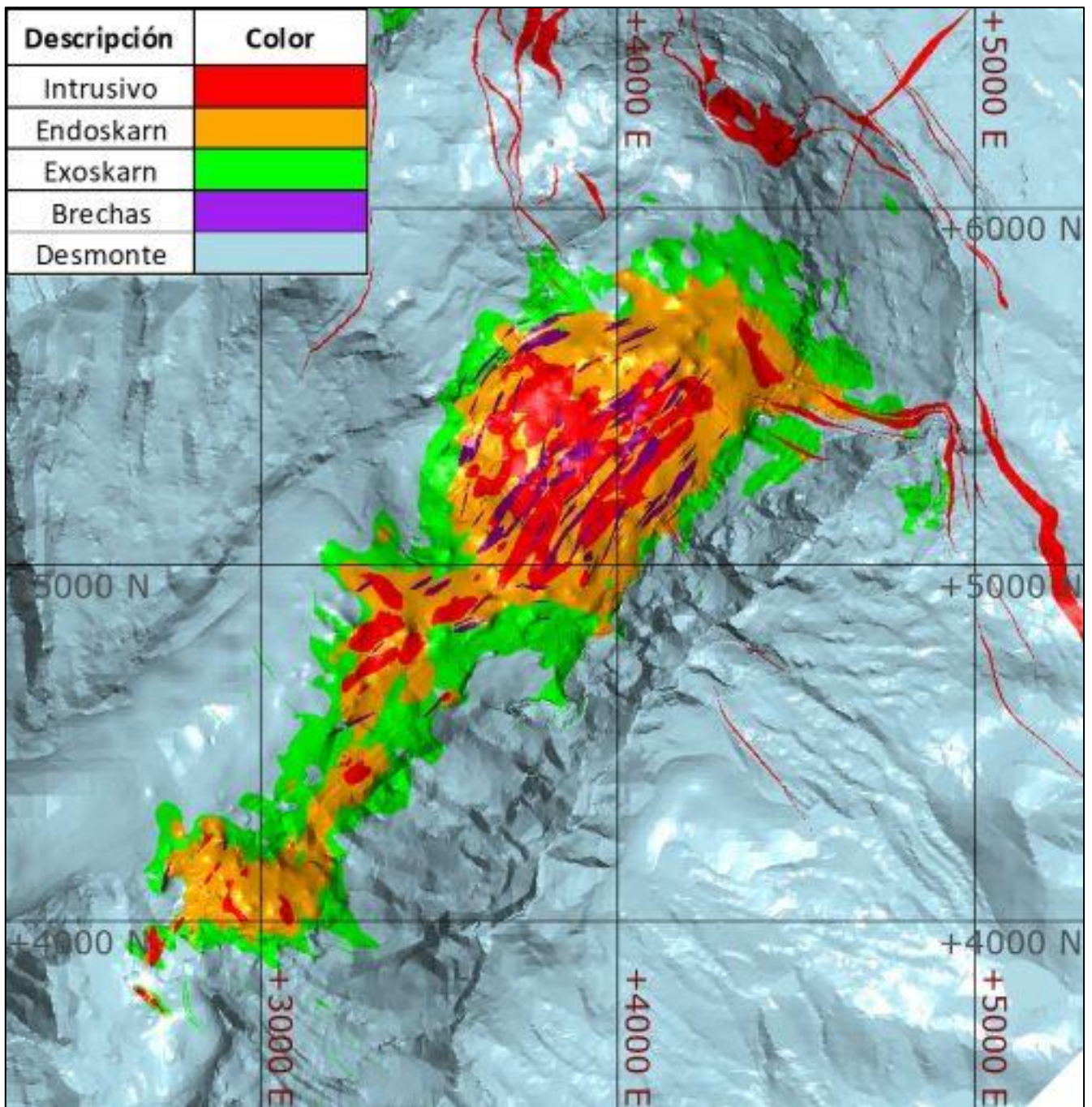


Figura 1: Vista en planta de la geología de Antamina

Cuando la perforación diamantina es constante y se tienen más de un millón de metros de testigos almacenados, hacer una campaña de relagueo para comprobar si el logueo geológico, en el límite entre mineral y desmante fue preciso, se hace poco factible. Debido a esto, se desarrolló una manera más objetiva y rápida de identificar posibles errores en el logueo haciendo minería de datos a través del análisis estadístico y espacial del comportamiento, por grupos de unidades litológicas, de los 43 elementos que se reportan en un ensayo geoquímico, encontrándose patrones que permiten diferenciar a los grupos portadores del mineral de aquellos que incluyen el desmante.

2. Objetivos

Establecer un mecanismo de control de calidad del logueo geológico, basado en datos objetivos y existentes, como las leyes, para identificar intervalos posiblemente mal logueados por una confusión entre intrusivo y endoskarn y entre exoskarn y desmante en el yacimiento Antamina.

Generar alertas, cuando se reciben las leyes, de aquellos intervalos en los sondajes recientes que requieren ser relagueados inmediatamente.

Mejorar la estimación de recursos minerales de Antamina por el establecimiento de un mejor logueo geológico.

3. Desarrollo

Desde el punto de vista litológico el intervalo menor de logeo es un metro y contiene una litología primaria y podría contener una litología secundaria.

Los intervalos litológicos culminan cuando hay un cambio de roca primaria o roca secundaria.

El intervalo de muestreo puede ser como mínimo un metro y máximo tres metros dentro de una única roca primaria. Las muestras son enviadas a un laboratorio externo cuyos resultados son reportados aproximadamente tres semanas después.

Se usó un software de modelamiento geológico para hacer el análisis espacial de cada uno de los 43 elementos, inicialmente sin discriminar por unidades litológicas y filtradas posteriormente por grupos de unidades litológicas. Para desplegar las leyes se usaron siempre leyendas continuas del tipo frío-calor y muchas veces fue necesario cambiar los valores mínimos y máximos de alguna leyenda para resaltar los cambios en leyes por grupos de unidades litológicas. Después de este primer análisis espacial se filtró un primer conjunto de elementos.

Para el conjunto de elementos identificados por análisis espacial, se prepararon gráficos de cajas y bigotes por grupos de unidades litológicas con la finalidad de entender la distribución de las poblaciones de leyes estos elementos, obteniéndose un segundo conjunto, más reducido, de elementos.

Se hicieron secciones a lo largo de varios sondajes desplegándose los valores de los elementos del segundo conjunto obtenido de los gráficos de cajas y bigotes. Como consecuencia, se identificaron tres elementos cuyos valores, al pasar de exoskarn a

desmante o de intrusivo a endoskarn, variaban bruscamente.

Finalmente, se revisaron las fotos de algunos testigos en los que el comportamiento de los elementos identificados no correspondía al de los patrones encontrados con la inspección espacial de las leyes, los gráficos de cajas y bigotes, y la transición de los valores en los contactos entre intrusivo y endoskarn y entre exoskarn y desmante.

3.1. Contacto entre Exoskarn y Mármol o Hornfels

El contacto más importante, desde el punto de vista económico, es el existente entre el exoskarn y el desmante, tomando en cuenta que ningún bloque de reserva cuyo centroide pertenezca a este último grupo litológico, será considerado como mineral. Sin embargo, algunos bloques cuyos centroides pertenecen al exoskarn podrían, después de aplicarse las fórmulas económicas, ser consideradas como desmante y es por este motivo es que no se usó el zinc como control de calidad.

Se hizo un análisis espacial de manera individual de los 43 elementos, comparando el exoskarn y el desmante identificándose que el estroncio era el elemento cuyos valores cambian drásticamente en el contacto entre ambos grupos litológicos.

3.1.1. Estroncio

La Figura 2 muestra una vista en planta de los sondajes donde claramente en el centro (skarn) los valores son muy bajos comparados a los que están en el borde externo (desmante).

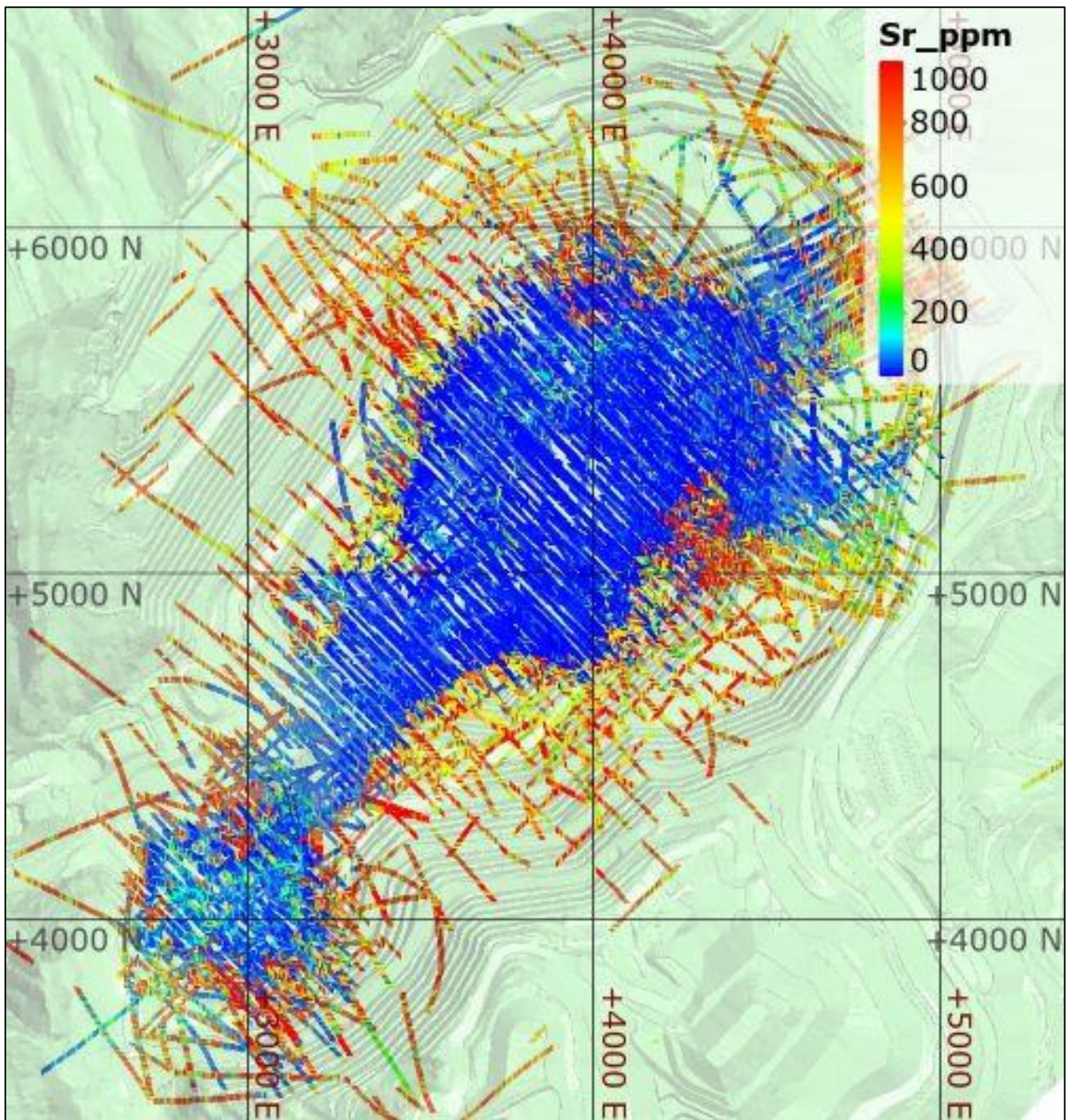


Figura 2: Estroncio en sondajes

La Figura 3 muestra como los valores reportados en el desmonte son muy altos respecto a los demás grupos litológicos.

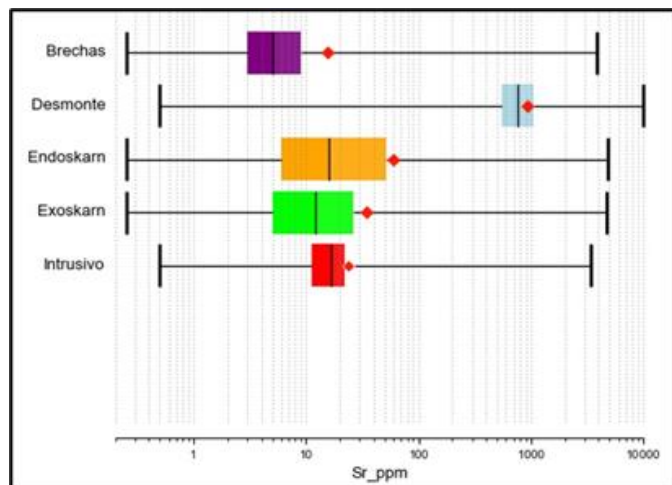


Figura 3: Cajas de bigotes para estroncio por grupos de unidades litológicas

La Figura 4 muestra un cambio abrupto de los valores entre el desmonte y el exoskarn.

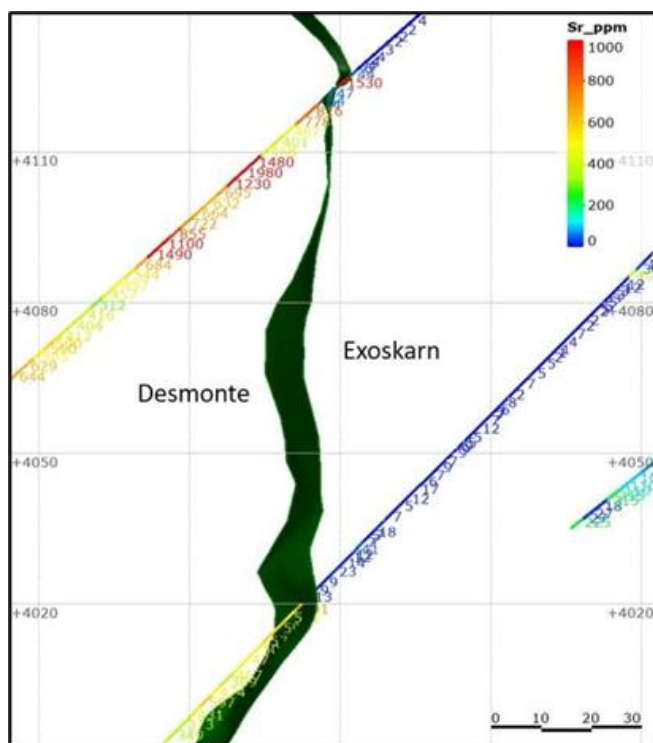


Figura 4: Estroncio en el contacto entre exoskarn y desmonte

Posiblemente, el estroncio presente en las rocas sedimentarias en valores mayores a 400 ppm, se presente en el exoskarn con valores menores a 100 ppm porque este elemento está incluido en algún silicato formado a partir de la skarnización, silicato que no se disuelve por el agua regia empleada en la disolución de las muestras durante el análisis geoquímico.

La Figura 5, muestra el comportamiento del estroncio por cada una de las unidades que componen el exoskarn y el desmonte. Estas unidades son: caliza (10), hornfels (13), hornfels diópsido (14), mármol (16), mármol diópsido (19), exoskarn de granate café verde (31), exoskarn de granate verde (32), exoskarn de diópsido (34), exoskarn de wollastonita y granate café verde (36) y exoskarn de wollastonita y granate verde (37).

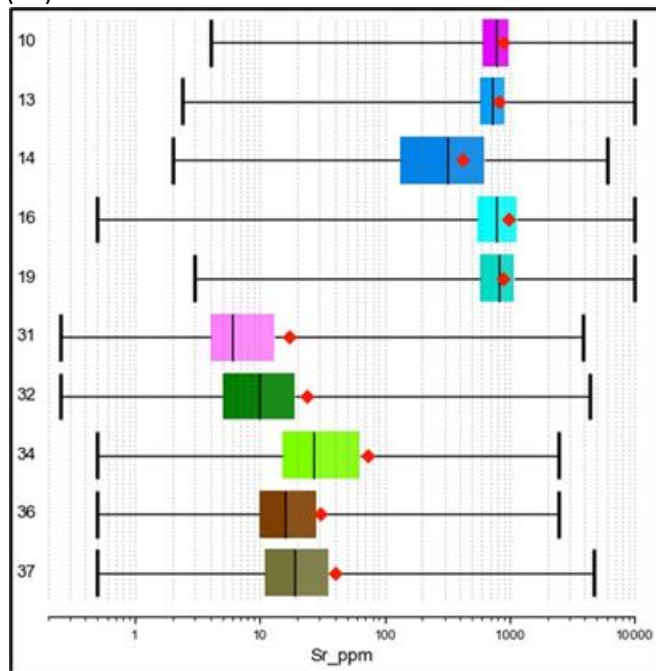


Figura 5: Gráfico de cajas y bigotes del estroncio por unidades litológicas

Este gráfico muestra que, dentro de las unidades litológicas del desmonte, el hornfels diópsido (14) es el que tiene menores valores de estroncio, comportamiento que fue tomado en cuenta al momento de establecer los patrones para diferenciar entre exoskarn y desmonte.

3.2. Contacto entre intrusivo y endoskarn

El otro contacto litológico importante, desde el punto de vista económico, es el existente entre el intrusivo y el endoskarn, ya que como se mencionó anteriormente solo el 2% del mineral se encuentra en el intrusivo. El endoskarn está formado por las siguientes unidades litológicas: endoskarn rosa (22), endoskarn café (20) y endoskarn rosa diópsido (23).

De la misma manera que con el exoskarn y desmonte, se hizo un análisis espacial de manera individual de los 43 elementos, comparando el intrusivo y el endoskarn identificándose que el calcio y el potasio eran los elementos cuyos valores cambian drásticamente en el contacto entre ambos grupos litológicos.

3.2.1. Calcio

Figura 6 muestra una distribución relativa de valores bajos de calcio en el centro (intrusivo) y valores altos en los bordes (endoskarn).

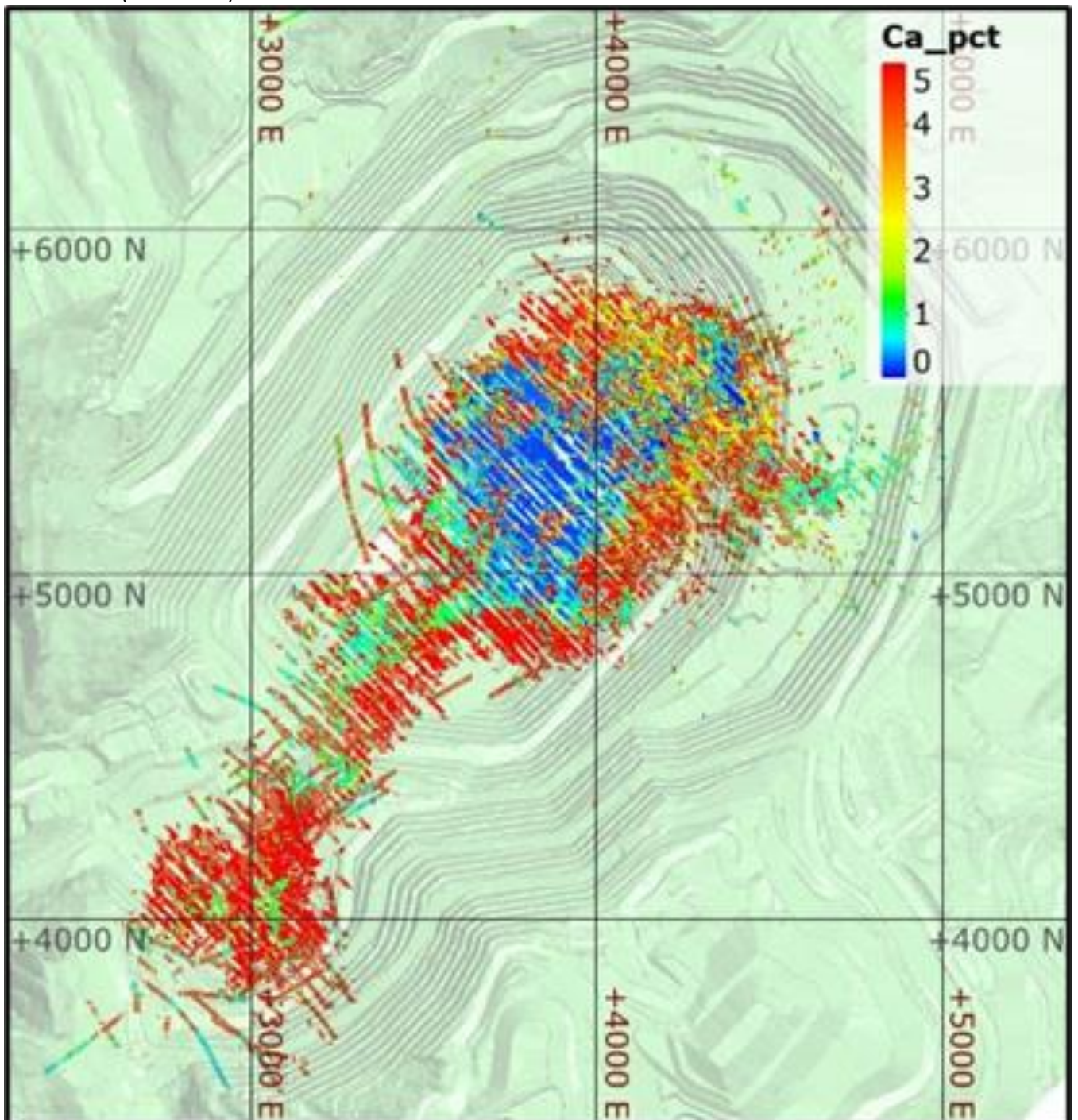


Figura 6: Calcio en endoskarn e intrusivo en sondajes

La Figura 7 comprueba que el intrusivo tiene valores mucho menores que los valores presentes en los demás grupos litológicos.

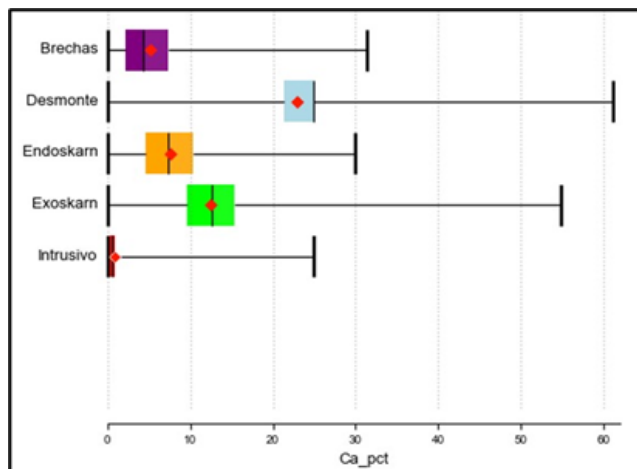


Figura 7: Gráfico de cajas y bigotes del calcio por grupos de unidades litológicas

La Figura 8 muestra como los valores de calcio en el endoskarn, son mayores que los valores de calcio en el intrusivo, habiendo un cambio drástico de estos valores en el contacto.

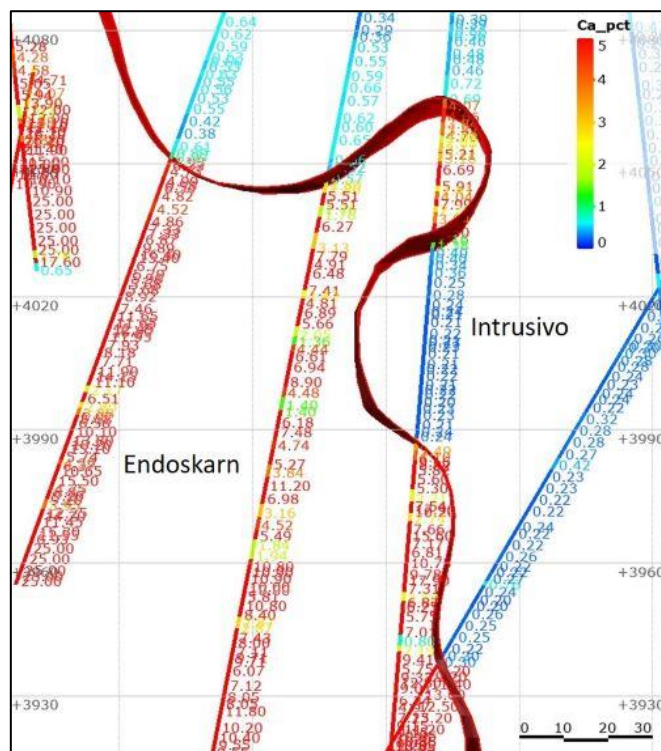


Figura 8: Calcio en el contacto entre intrusivo y endoskarn

Como consecuencia de estas consideraciones, el valor de 2% en calcio podía marcar un límite preliminar entre intrusivo y endoskarn.

3.2.2. Potasio

La Figura 9 muestra no muy claramente, una distribución relativa de valores altos de potasio en el centro (intrusivo) y valores bajos en los bordes (endoskarn).

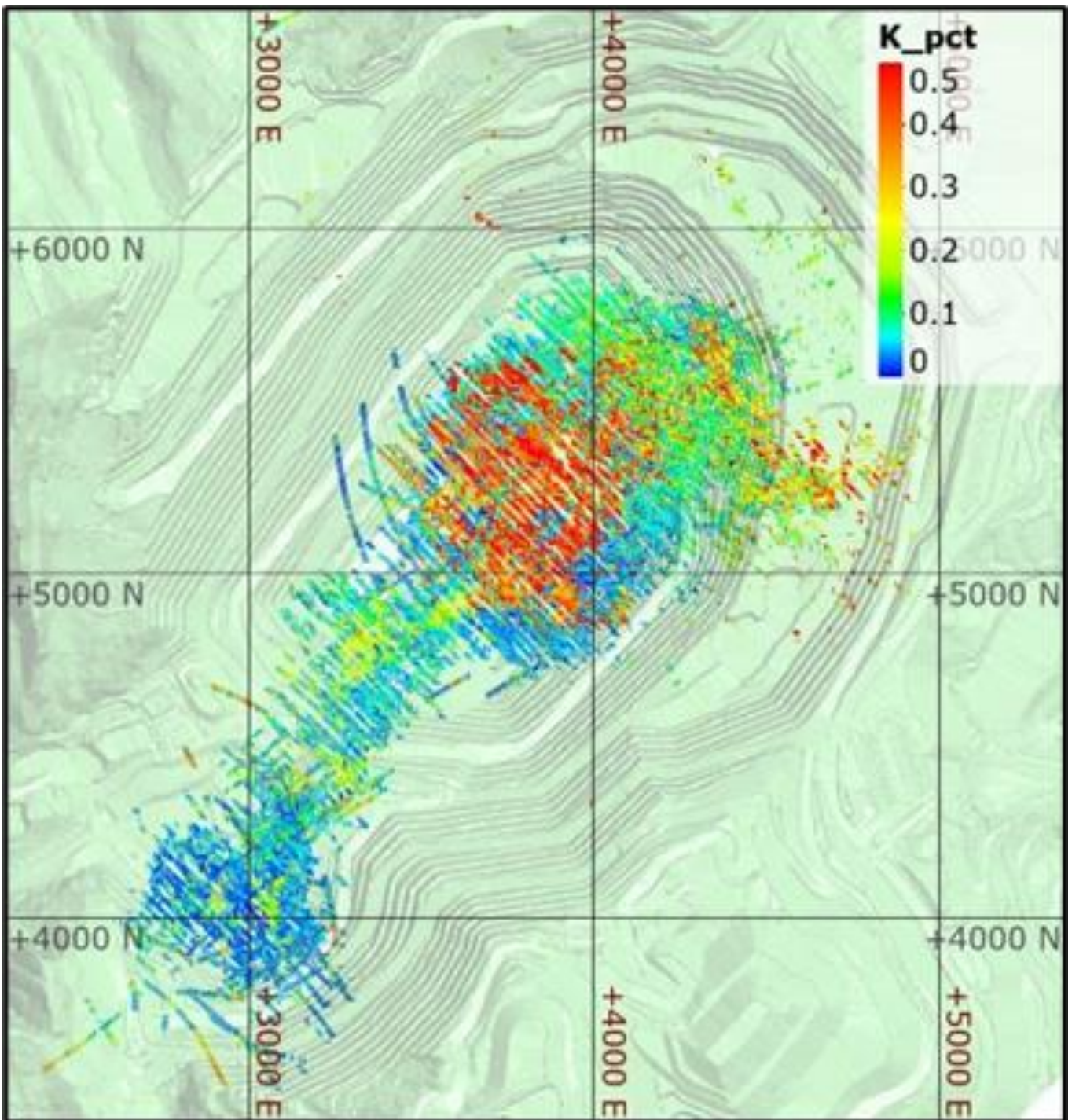


Figura 9: Potasio en endoskarn e intrusivo en sondajes

La Figura 10 muestra que los valores de potasio en el intrusivo son mayores que los valores de los otros grupos de roca.

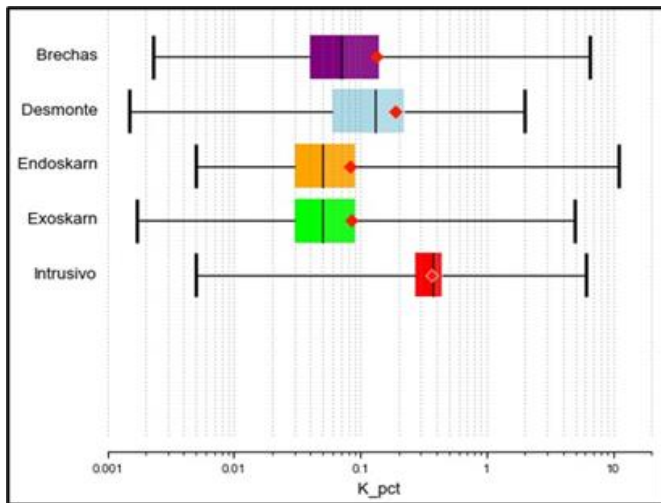


Figura 10: Gráfico de cajas y bigotes del potasio por grupos de unidades litológicas

La Figura 11 muestra como los valores de potasio en el endoskarn, son menores que los valores de potasio en el intrusivo, habiendo un cambio drástico de estos en el contacto.

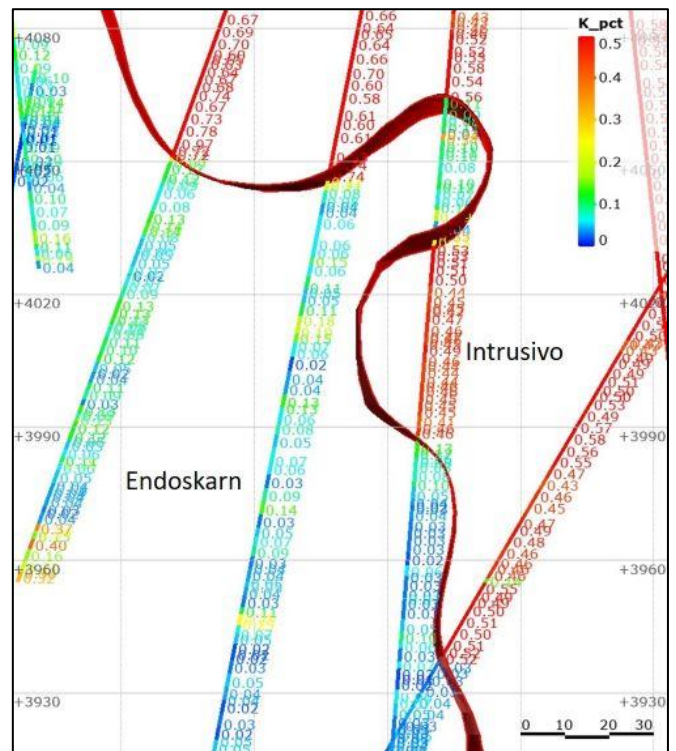


Figura 11: Potasio en el contacto entre intrusivo y endoskarn

Como consecuencia de estas consideraciones, el valor de 0.15% en potasio podía marcar un límite preliminar entre intrusivo y endoskarn.

Sin embargo, al observar la Figura 12 notamos que en el sector noreste del depósito el endoskarn muestra valores más altos a 0.15% de potasio respecto a la parte central y suroeste.

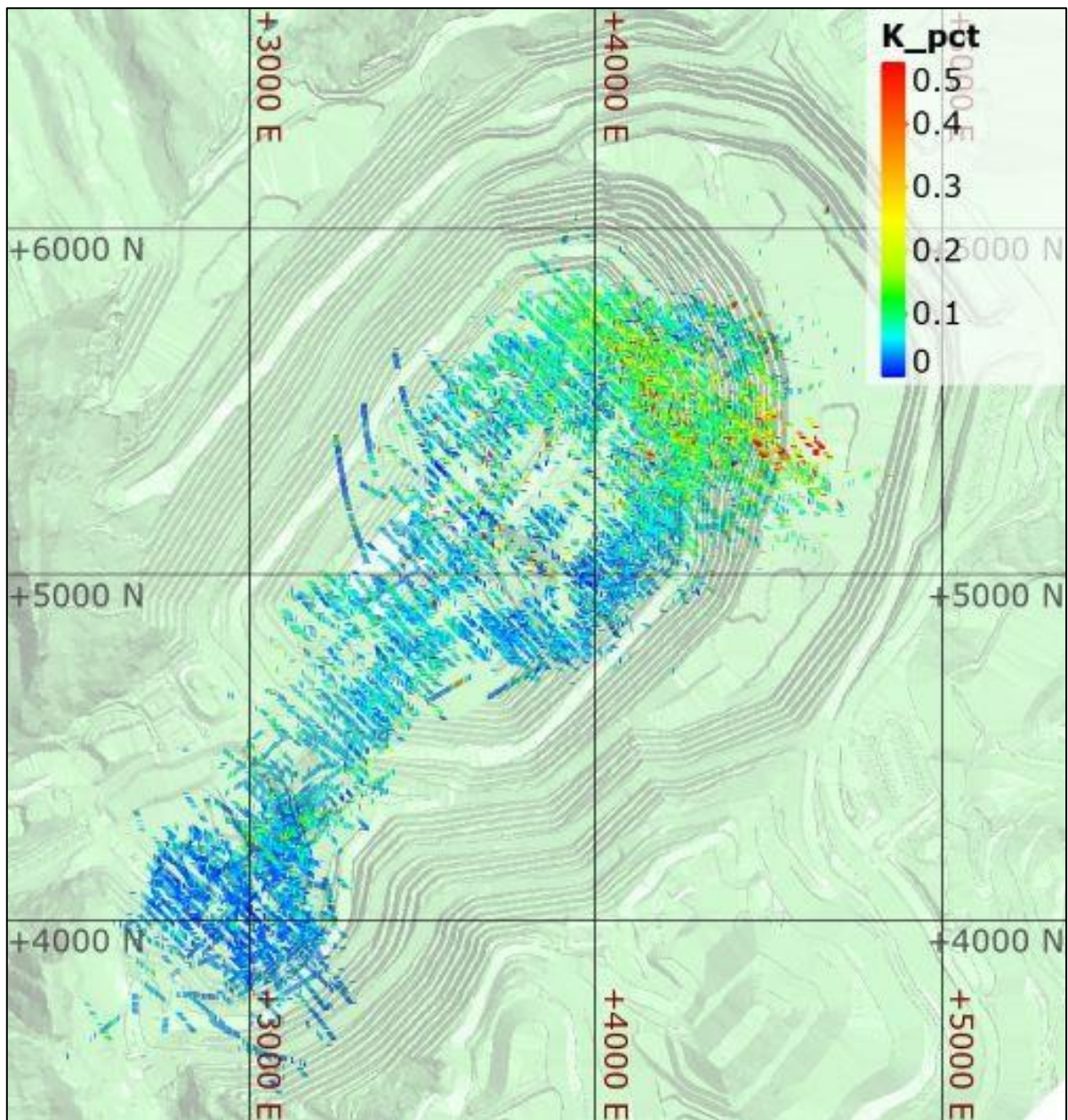


Figura 12: Potasio en endoskarn

Como consecuencia de esto, fue necesario buscar otro elemento, que, de manera complementaria a los previamente indicados, nos permita discriminar el intrusivo del endoskarn.

3.2.3. Azufre

La Figura 13 muestra que gran parte de los intervalos con valores superiores a 2% de azufre coinciden con los

intervalos con valores de potasio superiores a 0.15% indicados en la Figura 12: Potasio en endoskarn.

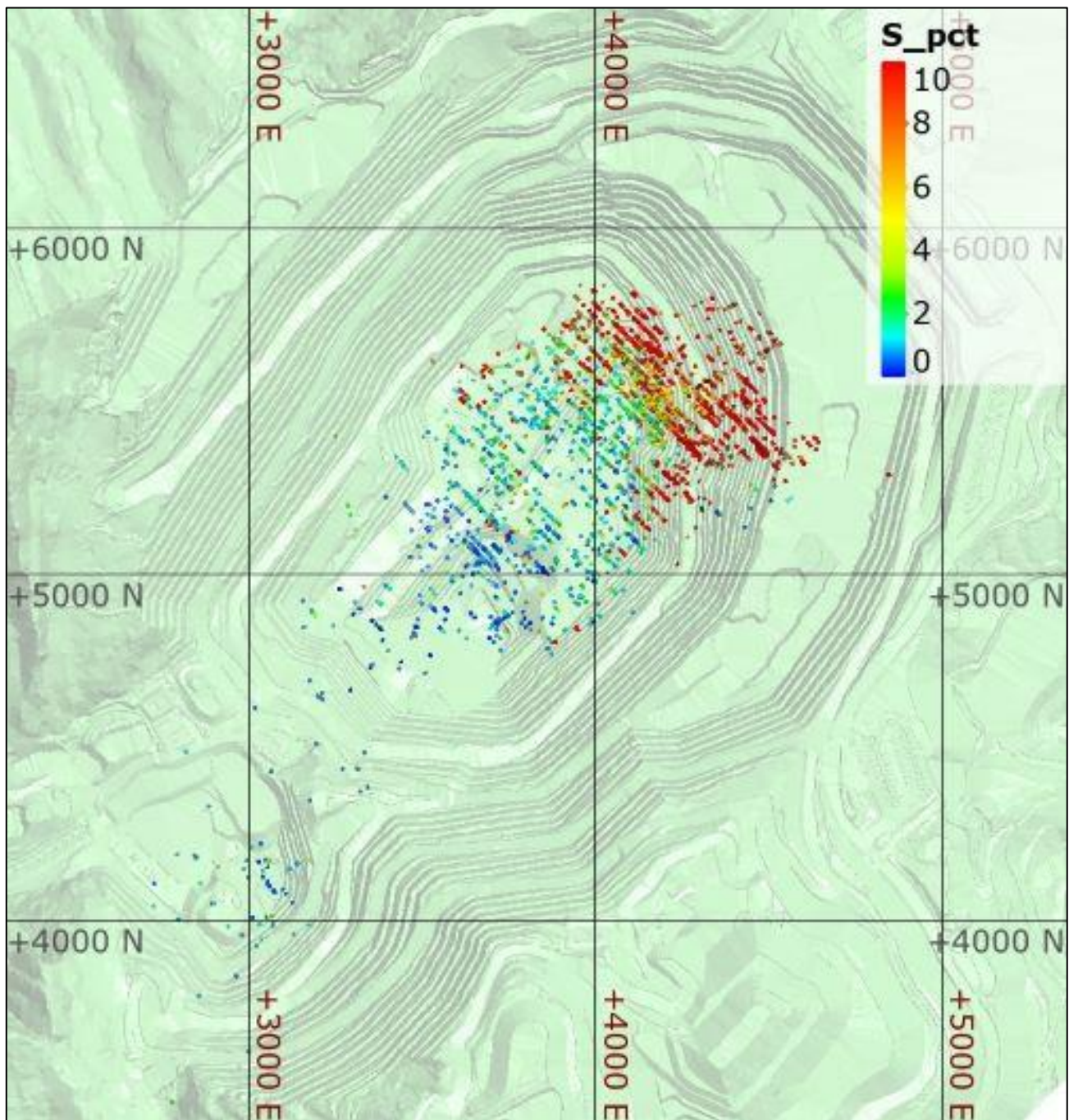


Figura 13: Azufre en endoskarn con calcio menor a 2% y potasio mayor a 0.15%

4. Presentación y discusión de resultados

Como consecuencia de este análisis se establecieron los siguientes patrones que nos permitieron identificar cuando un intervalo necesitaba reloguearse.

Cuando la unidad litológica logueada es caliza (10), hornfels (13), mármol (16) o mármol diópsido (19) y el estroncio es menor que 100 ppm.

Cuando la unidad litológica logueada es hornfels diópsido (14) y el estroncio es menor que 50 ppm.

Cuando la unidad litológica logueada es, exoskarn de granate café verde (31), exoskarn de granate verde (32), exoskarn de diópsido (34), exoskarn de wollastonita y granate café verde (36) o exoskarn de wollastonita y granate verde (37) y el estroncio es mayor o igual que 400 ppm.

Cuando la unidad litológica logueada es intrusivo (1), el calcio es mayor o igual que 2% y el potasio es menor que 0.15%.

Cuando la unidad litológica logueada es endoskarn café (20), endoskarn rosa (22) o endoskarn diópsido (23), el calcio es menor que 2%, el potasio es mayor o igual que 0.15% y el azufre es menor a 2%.

Se estableció un mecanismo de alertas, enviadas automáticamente por correo electrónico, cuando las leyes eran reportadas por el laboratorio externo y al compararse con la litología previamente logueada, no cumplían los patrones previamente establecidos.

6. Conclusiones

El establecimiento de este mecanismo de control de calidad del logueo geológico basado en leyes no implicó gastos adicionales.

En el 80% de los intervalos revisados por no cumplir los patrones de estroncio para diferenciar entre exoskarn y desmonte se cambió la litología primaria.

Se actualizó el modelo geológico en las zonas donde se cambió la litología como consecuencia del relogueo.

Se identificaron aquellos intervalos de los sondeos, hasta el año 2018, en los que no se cumplían los patrones en calcio, potasio y azufre para diferenciar entre intrusivo y endoskarn. Aun no se han relogueado estos intervalos.

Agradecimientos

A Compañía Minera Antamina por permitirme difundir este trabajo

Referencias

Ríos, A. 2013. Modelo Geológico Implícito de Antamina. ProExplo 2013.

Perfil profesional

Geólogo (MAusIMM, CIP) con más de 20 años de experiencia en todo el ciclo minero, desde la exploración para oro, plata y metales básicos, modelamiento geológico implícito y estimación de recursos y reservas, hasta la planificación, desarrollo, producción y reconciliación de operaciones mineras. Reconocida experiencia en el desarrollo de innovadoras soluciones aplicadas en la geología y la minería.

Ángel Ríos Espinoza

Geólogo Sénior

Compañía Minera Antamina

arios@antamina.com

+51-998-491-101

Av. El Derby 055, Oficina 801, Surco, Lima, Perú

Perfil profesional

David Velazco Infante es titulado de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) y cuenta con un MBA (PUCP). Además, ha cursado estudios de post grado en Perú, España y USA. Cuenta con más 15 años de experiencia laboral en el sector minero. Antes de Antamina, trabajó en la Compañía Minera Condestable, Petroperú, Pan American Silver, entre otras empresas.

David Velazco Infante

Administrador Sénior de Base de Datos

Compañía Minera Antamina

dvelazco@antamina.com

968003912

Av. EL Derby 055, Surco, Lima, Perú

Perfil profesional

Bachiller en Ingeniería Geológica, egresada de la Universidad Nacional de Piura. Con experiencia en mecánica de suelos, geotecnia, con conocimientos en estimación de recursos de elementos como el zinc, hierro, calcio y azufre

Rosa Palacios Ancajima

Practicante de Geología

Compañía Minera Antamina

ropalacios@antamina.com

+51-974-514-706

Av. EL Derby 055, Surco, Lima, Perú