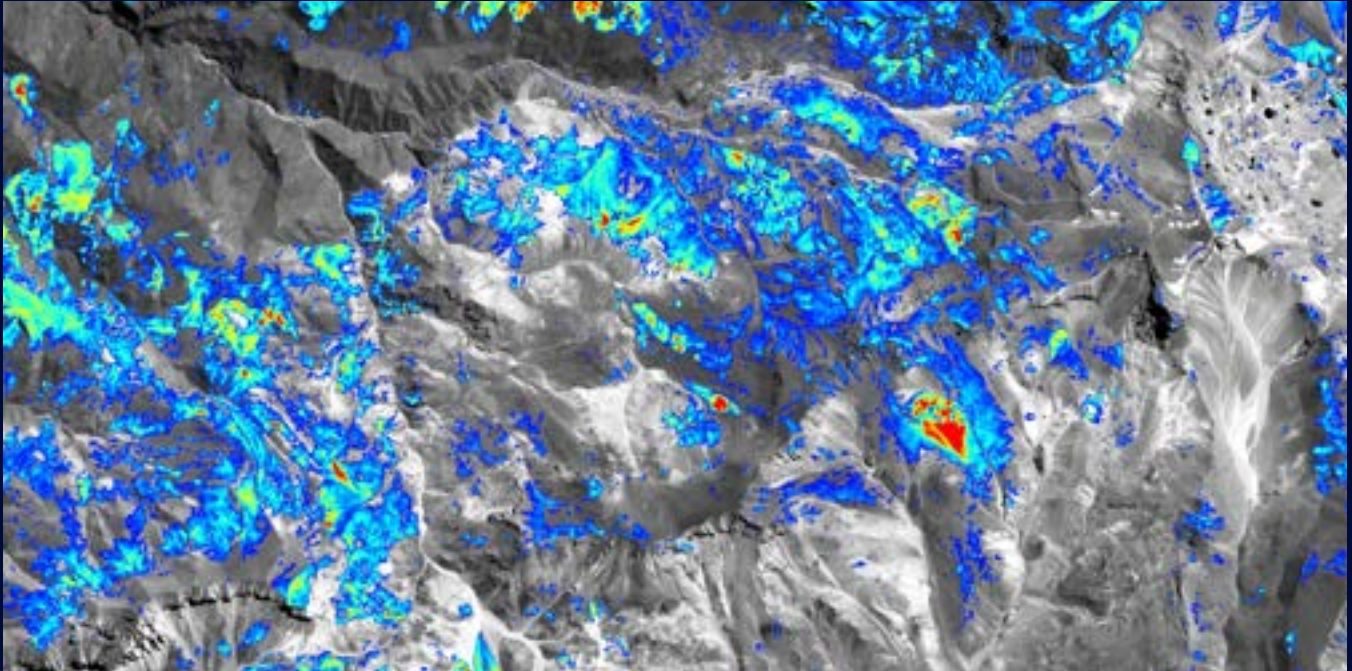


▪ ESTUDIO DE CASO

Rápido. Preciso. Confiable.



Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) en Cerro Casale y Caspiche

LA PRÓXIMA GENERACIÓN DE MAPEO SATELITAL DE MINERALES DE ALTERACIÓN

Contenido

Resumen	2	Ventajas de los Datos Hiperespectrales	8
Introducción	3	Identificación Mineral Hiperespectral	9
Geología Regional	3	Ajuste de Características Espectrales	9
Yacimiento Cerro Casale	3	Ajuste Polinomial de Orden Superior	9
Yacimiento Caspiche	3	Resultados	10
Otros yacimientos en la región	5	Lista de Minerales de Alteración	10
Metodología	6	Lista de Imágenes Contextuales	10
Satélites Multiespectrales vs Hiperespectrales	6	Imágenes de Alteración	11
Sensor EMIT	8	Imágenes Contextuales	29

Resumen

Los yacimientos de oro y cobre Cerro Casale y Caspiche se encuentran en el cinturón de Maricunga, en el norte de Chile, aproximadamente a 110 km al sudeste de Copiapó. El cinturón de Maricunga abarca numerosas zonas de alteración hidrotermal extensas alojadas en rocas volcánicas y stocks de alto nivel que las intruyen. La mineralización incluye pórfidos ricos en oro $\pm$ cobre y sistemas epitermales de metales preciosos, formados durante fenómenos hidrotermales tardíos de Oligoceno y Mioceno (Sillitoe et al. 1991).

Ambos depósitos se descubrieron en la década de 1980 y se han realizado extensas exploraciones. Actualmente, los dos yacimientos conforman el proyecto Norte Abierto, que forma parte de la empresa conjunta Norte Abierto, entre Newmont y Barrick.

En este informe, PhotoSat presenta los resultados del nuevo producto Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) sobre la región Cerro Casale y Caspiche. Para conocer los resultados, lea el informe completo del estudio de caso.

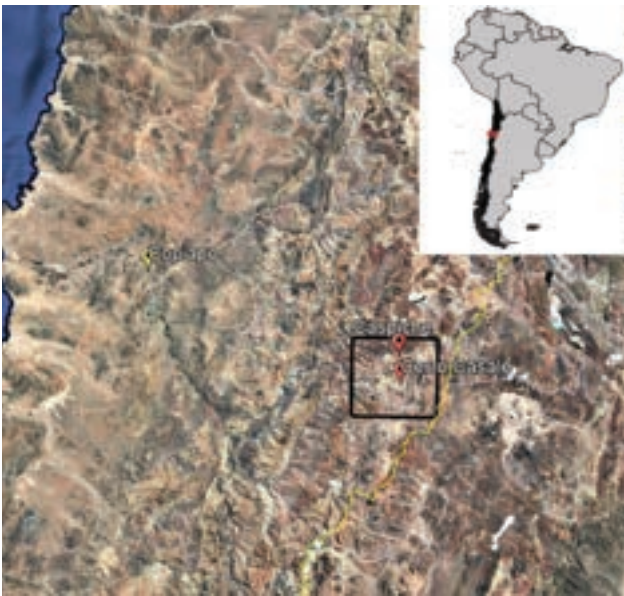


Figura 1. Ubicación de los yacimientos Cerro Casale y Caspiche en el norte de Chile. La región analizada en este estudio de caso se destaca con el rectángulo negro.

Introducción

En este caso de estudio se resalta los resultados de Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) de PhotoSat sobre la región de los yacimientos Cerro Casale y Caspiche, en la zona sur del cinturón volcánico de Maricunga.

Geología Regional

Los yacimientos de oro y cobre Cerro Casale y Caspiche conforman el proyecto Norte Abierto, que forma parte del Norte Abierto Join Venture entre Newmont y Barrick. Norte Abierto entre Newmont y Barrick. Actualmente, el proyecto tiene una reserva probada y probable de 23,2 millones de onzas de oro y 5.800 millones de libras de cobre.

Los yacimientos Cerro Casale y Caspiche se encuentran en el subdistrito Aldebarán del cinturón volcánico de Maricunga. El cinturón de Maricunga comprende una serie de compuestos coalescentes, centros volcánicos del Mioceno de composición andesítica a riolítica, que se extienden 200 km a lo largo de la cresta occidental de los Andes.

Las fallas inversas paralelas al eje de los Andes han provocado el levantamiento de rocas intrusivas

hipabisales por debajo de las rocas volcánicas extrusivas. A su vez, este levantamiento ha expuesto depósitos de oro y cobre alojados en pórfidos en la región de Aldebarán. (Palacios, et al, 2001)

Yacimiento Cerro Casale

En Cerro Casale, la mineralización de oro-cobre se presenta en stockworks de vetillas de cuarzo-sulfuros y de cuarzo-magnetita-especularita, desarrollados en intrusivos dioríticos a granodioríticos y en rocas volcánicas adyacentes de composición intermedia a félsica. La mineralización parece estar más estrechamente relacionada con una fuerte alteración potásica a fílica en las fases más tardías de intrusivos de composición intermedia a félsica y de brechas intrusivas e hidrotermales asociadas. Se cree que Cerro Catedral representa la litocapa original del sistema de alteración, caracterizado por abundante alunite, caolinita y sílice calcedónica (Henderson, R., y Eng, P., 2010).

Yacimiento Caspiche

El yacimiento Caspiche se ubica 12 km al norte del yacimiento Cerro Casale. En Caspiche, la mineralización de oro-cobre se concentra en un stock porfídico compuesto de diorita a diorita cuarzosa que intruye rocas volcánicas félsicas. Dentro del yacimiento, se distinguen rutinariamente cinco fases progresivamente más jóvenes hacia el exterior.

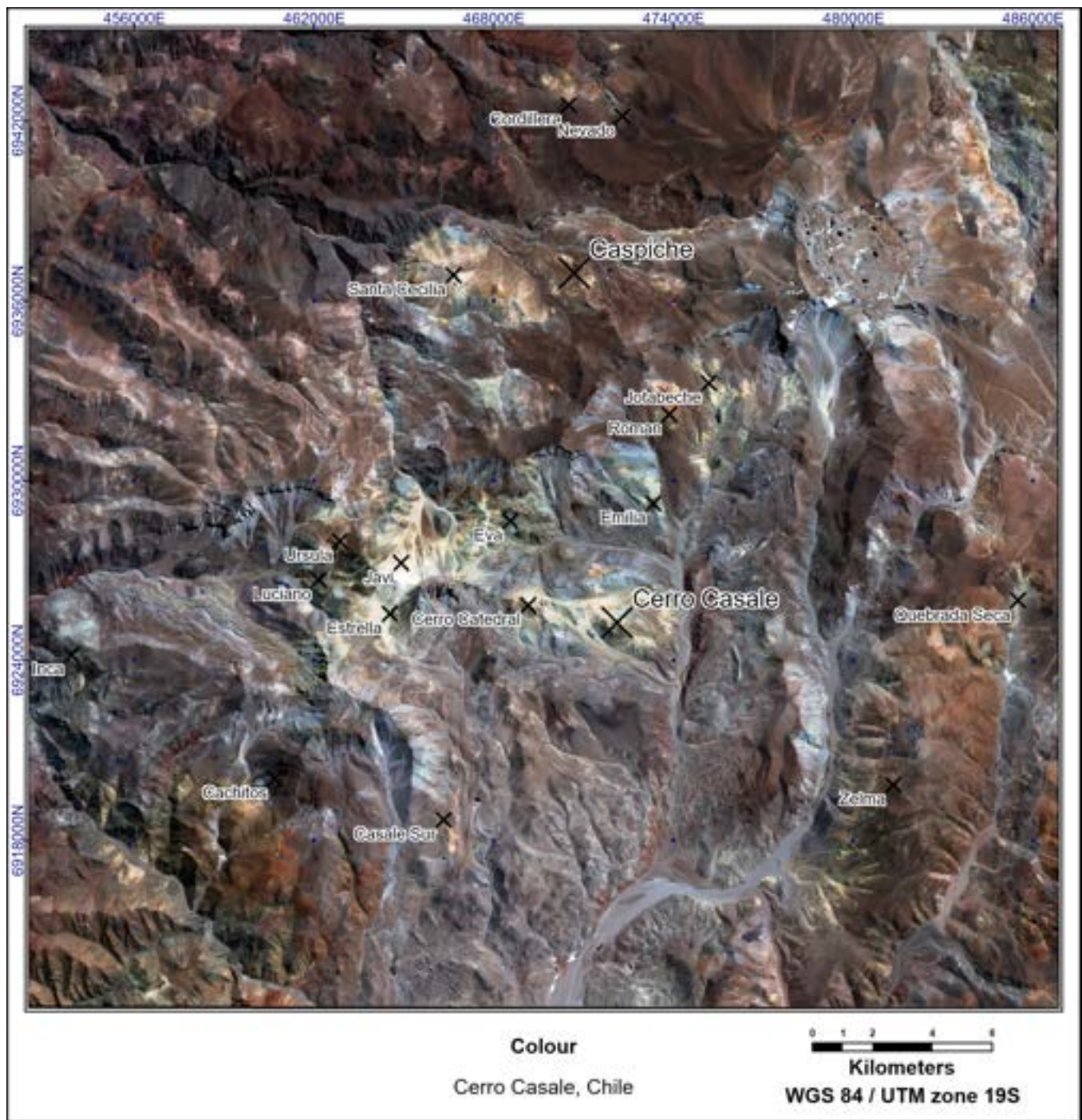


Figura 2. Área del caso de estudio. Imagen en color natural que muestra una visión general regional del área del proyecto. Las ubicaciones de Cerro Casale y Caspiche se muestran con una X grande negra, las ubicaciones de los depósitos satélite (Roman, Jotabeche, Eva, Emilia, etc.) se muestran con una x pequeña negra.

La mineralización de oro-cobre en la mitad inferior del yacimiento está acompañada de rocas con vetillas de cuarzo $\pm$ magnetita, con alteración potásica. La mineralización somera se presenta en una alteración argílica avanzada dominada por cuarzo-caolinita. Las partes superiores de la zona argílica avanzada se caracterizan por crestos silíceos, algunos de los cuales son auríferos, compuestos de cuarzo vuggy y/o roca silicificada.

Una zona relativamente menor y levemente inclinada de mineralización epitermal de oro-zinc de sulfuración intermedia, que comprende vetillas estrechas y diseminaciones, se desarrolla junto a un contacto de diatrema mineral tardío. Gran parte del área en el sector norte de la propiedad está cubierta por rocas volcánicas postmineralización. La mayor parte de la propiedad está

cubierta por coluvión cuaternario (Sillitoe et al, 2013).

Otros Depósitos en la Región

Cerro Casale y Caspiche han sido el foco de la región de Aldebarán debido a su inmenso tamaño; se han explorado muchos otros indicios/depósitos cercanos. Esto incluye a Eva, Roman, Jotabeche y Javi, que exhiben estilos de mineralización similares a Cerro Casale y Caspiche y tienen el potencial de albergar escalas de recursos similares (Henderson, R., y Eng, P., 2010).

Este informe regional también incluye proyectos de exploración que pertenecen a otras empresas, como Cachitos, Casale Sur, Zelma (Gold Hart Resources), Santa Cecelia (Torq Resources), Inca (Stuve Gold Corp), Cordillera (Aero Energy) y Nevado (Teck).



Metodología

La Próxima Generación de Mapeo Satelital de Minerales de Alteración

PhotoSat ha desarrollado internamente sus propios procesos de mapeo de minerales de alteración con Deep Learning, que utilizan datos satelitales hiperspectrales.

Estas soluciones combinan las ventajas de varios sensores satelitales multispectrales e hiperspectrales con más de 20 años de experiencia de PhotoSat en la producción de mapeo de minerales de alteración. Estos productos son la “próxima generación” de mapeo satelital de alteración, que potencia las capacidades de las soluciones multispectrales tradicionales como ASTER, Sentinel-2 y WorldView-3. El primer producto de este paquete es una herramienta de Identificación

Hiperspectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) para fines de exploración regional de alta calidad.

R-HET combina las ventajas de la resolución espectral de los sensores hiperspectrales VNIR-SWIR, como EMIT, con las ventajas espaciales de Sentinel-2 y los datos TIR de ASTER para proporcionar a los geólogos la información necesaria para tomar las mejores decisiones posibles, basadas en datos al generar objetivos para la selección de áreas y la generación de proyectos.

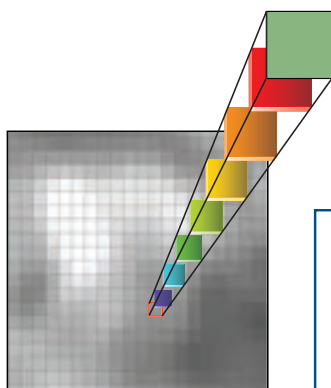
Satélites Multiespectrales vs. Hiperspectrales

Tradicionalmente, los satélites más utilizados para el mapeo de minerales de alteración usan sensores multispectrales (p. ej., Landsat (1-9), Sentinel-2,

MULTIESPECTRAL



No se puede identificar los minerales con confianza cuando las firmas se encuentran muy mezcladas.

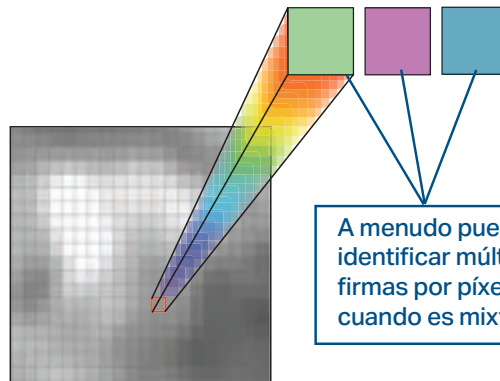


La identificación de minerales a menudo está limitada por un mayor grado de mezcla.

HIPERESPECTRAL



Alta resolución espectral significa que los minerales pueden identificarse con mayor confianza incluso cuando las firmas se encuentran muy mezcladas.



A menudo puede identificar múltiples firmas por píxel cuando es mixto.



ASTER, WorldView-3). Los sensores multispectrales normalmente capturan de 3 a 20 bandas, y cada banda detecta un amplio rango variable de longitudes de onda en todo el espectro electromagnético (EM).

Los sensores hiperspectrales capturan cientos de bandas espectrales donde cada banda cubre un rango de longitud de onda mucho más estrecho y tiene un espaciado de bandas constante. Este tipo de datos espectrales se capturan de forma rutinaria mediante sensores hiperspectrales aéreos, portátiles o de escaneo de testigos. La tecnología hiperspectral ahora está ampliamente disponible a través de nuevos sensores espaciales, en particular los que cubren longitudes de onda del infrarrojo de onda corta (SWIR)

que son importantes para la identificación de minerales, entre ellos EMIT, EnMAP, PRISMA y Tanager.

Los satélites hiperspectrales suelen tener una resolución espacial menor que sus homólogos multispectrales (por ejemplo, 60 m para EMIT en comparación con 30 m para ASTER). Aún así, la resolución espectral significativamente mejorada compensa sustancialmente esta limitación. La HET regional (R-HET) aprovecha tanto las ventajas espaciales de los sensores multispectrales como las ventajas espectrales de los sensores hiperspectrales.

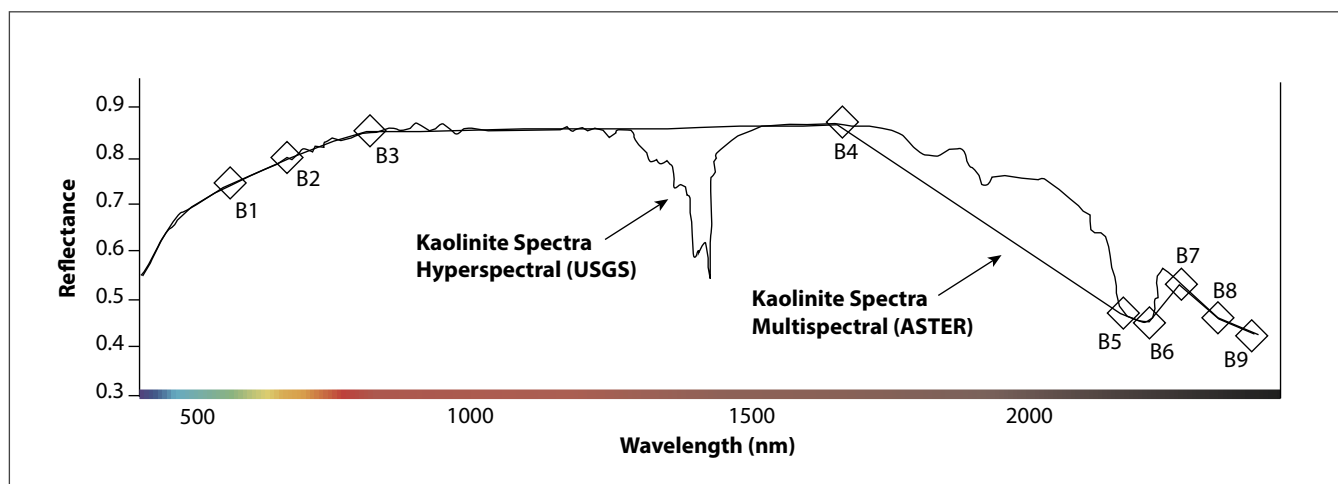


Figura 3. Comparación de la respuesta multispectral de ASTER con la respuesta hiperspectral portátil de USGS para la caolinita. La respuesta hiperspectral de caolinita muestra un detalle espectral significativamente mayor que no es visible en la respuesta ASTER de caolinita.

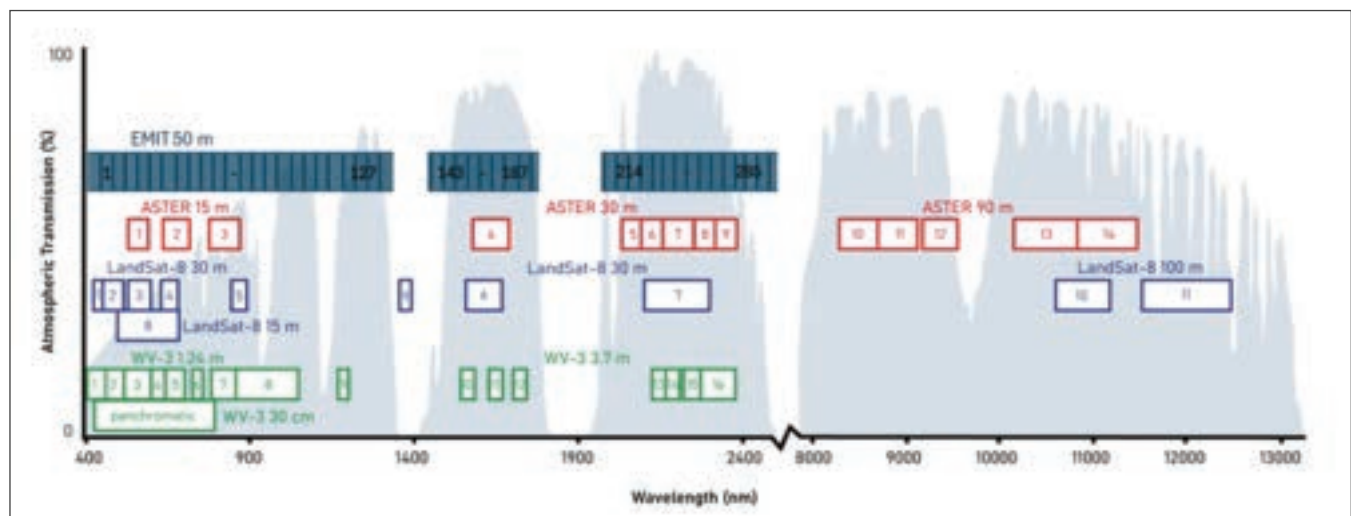
Sensor EMIT

Los datos hiperespectrales utilizados en este caso de estudio se obtuvieron a partir del sensor EMIT (Earth Surface Mineral Dust Source Investigation), aunque los métodos de procesamiento se pueden aplicar a otros datos y sensores hiperespectrales. EMIT es una misión de la NASA originalmente destinada a ayudar a los investigadores a modelar los efectos climáticos globales midiendo las fuentes de polvo mineral superficial utilizando datos hiperespectrales en los desiertos del mundo. El sensor hiperespectral EMIT se lanzó en 2022 y está instalado en la Estación Espacial Internacional (ISS).

El sensor EMIT captura 285 bandas espectrales estrechas contiguas en las regiones de infrarrojo cercano visible (VNIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR) a una resolución en terreno de 48 m x 60 m. Existe un archivo de datos de EMIT a partir de 2022, que cubre principalmente las regiones áridas del mundo y puede extenderse hasta 52° en latitudes norte y sur.

Teniendo en cuenta su resolución espacial, el gran ancho de barrido y la amplia cobertura de los datos de archivo, los datos de EMIT son los más adecuados para fines de exploración regional.

Figura 4. Características espectrales y espaciales de los sensores ASTER, Landsat-8, WV-3 y EMIT.



Ventajas de los Datos Hiperespectrales

Además de aumentar la precisión y fiabilidad de la detección mineral, el uso de datos hiperespectrales permite la detección de una amplia gama de nuevos minerales de alteración que eran difíciles de detectar con satélites multiespectrales disponibles, incluidos minerales como pirofilita, moscovita e illita. También se puede utilizar para diferenciar las cristalinidades y composiciones de minerales, como moscovita alta en Aluminio (Al) vs moscovita bajo en Al, y clorita rica en Fe vs clorita rica en Mg, así como para estimar las abundancias relativas de algunos minerales de alteración.

Entre las ventajas clave del uso de datos hiperespectrales se encuentran:

- Mapear/diferenciar más minerales de alteración clave como la pirofilita, la moscovita y la illita.
- Diferenciar las composiciones y cristalinidades de los minerales, como la alunita potásica vs la alunita sódica, o la moscovita alto Al vs la moscovita-bajo Al.
- Detectar firmas de alteración sutiles a escala subpíxel en espectros mixtos utilizando modelos avanzados de Deep Learning, que mejoran la precisión y reducen los falsos positivos.



- Mapear las abundancias relativas de minerales para facilitar el desarrollo de objetivos de exploración más eficaces. .
- Los elementos visuales atractivos ayudan a elaborar una interpretación integral del modelo para inversores, ejecutivos y otras partes interesadas.

Identificación Mineral Hiperespectral

Lanzado en 2019, el proceso patentado de mapeo de minerales con aprendizaje profundo de PhotoSat utiliza algoritmos de análisis espectral para procesar imágenes de satélite. Este proceso se basa en más de 20 años de experiencia de PhotoSat en el mapeo de minerales de alteración utilizando datos satelitales. Esta tecnología, que anteriormente se aplicaba a conjuntos de datos satelitales multiespectrales, se ha adaptado al procesamiento de datos hiperespectrales.

Los minerales tienen características espectrales únicas que se pueden utilizar para identificarlos. Para identificar positivamente un mineral, buscamos y examinamos las características de diagnóstico en el perfil espectral o “firma”.

Ajuste de Características Espectrales

Los minerales tienen características de absorción únicas en su firma espectral, que aparecen como mínimos locales en el perfil. El perfil espectral de cada píxel en una imagen satelital puede compararse con las características de absorción diagnóstica de perfiles espectrales de referencia de minerales conocidos mediante el uso de recursos tales como la Biblioteca Espectral de USGS. PhotoSat utiliza algoritmos de Deep Learning para optimizar este proceso, mejorando así la coherencia y fiabilidad de los resultados, especialmente en espectros altamente complejos.

Además, PhotoSat mantiene una biblioteca interna de perfiles espectrales de referencia, recopilados de diversas fuentes, para este fin.

Ajuste Polinomial de Orden Superior

Los atributos adicionales de los espectros se extraen utilizando un método de ajuste polinomial de orden superior. Este método puede analizar características de absorción individuales para extraer criterios como profundidad mínima, longitud de onda, asimetría y área. Estos atributos se pueden utilizar para mapear características minerales, como composición, cristalinidad y abundancia relativa.

Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) en Cerro Casale y Caspiche

Resultados

La siguiente sección muestra las imágenes de alteración generadas para cada mineral detectado, junto con las imágenes contextuales de apoyo producidas para este estudio de caso.

Lista de Minerales de Alteración

- 75 m Distribución de Sílice
- 25 m Distribución de Ópalo/Calcedonia
- 25 m Abundancia Relativa de Alunita
- 25 m Distribución de Alunita Potásica
- 25 m Distribución de Alunita Sódica
- 25 m Distribución de Caolinita
- 25 m Distribución de Dickita
- 25 m Distribución de Pirofilita
- 25 m Abundancia Relativa de Moscovita
- 25 m Distribución de Muscovita Alta en Aluminio
- 25 m Distribución de Muscovita Baja en Aluminio
- 25 m Distribución de Illita
- 25 m Distribución de Montmorillonita

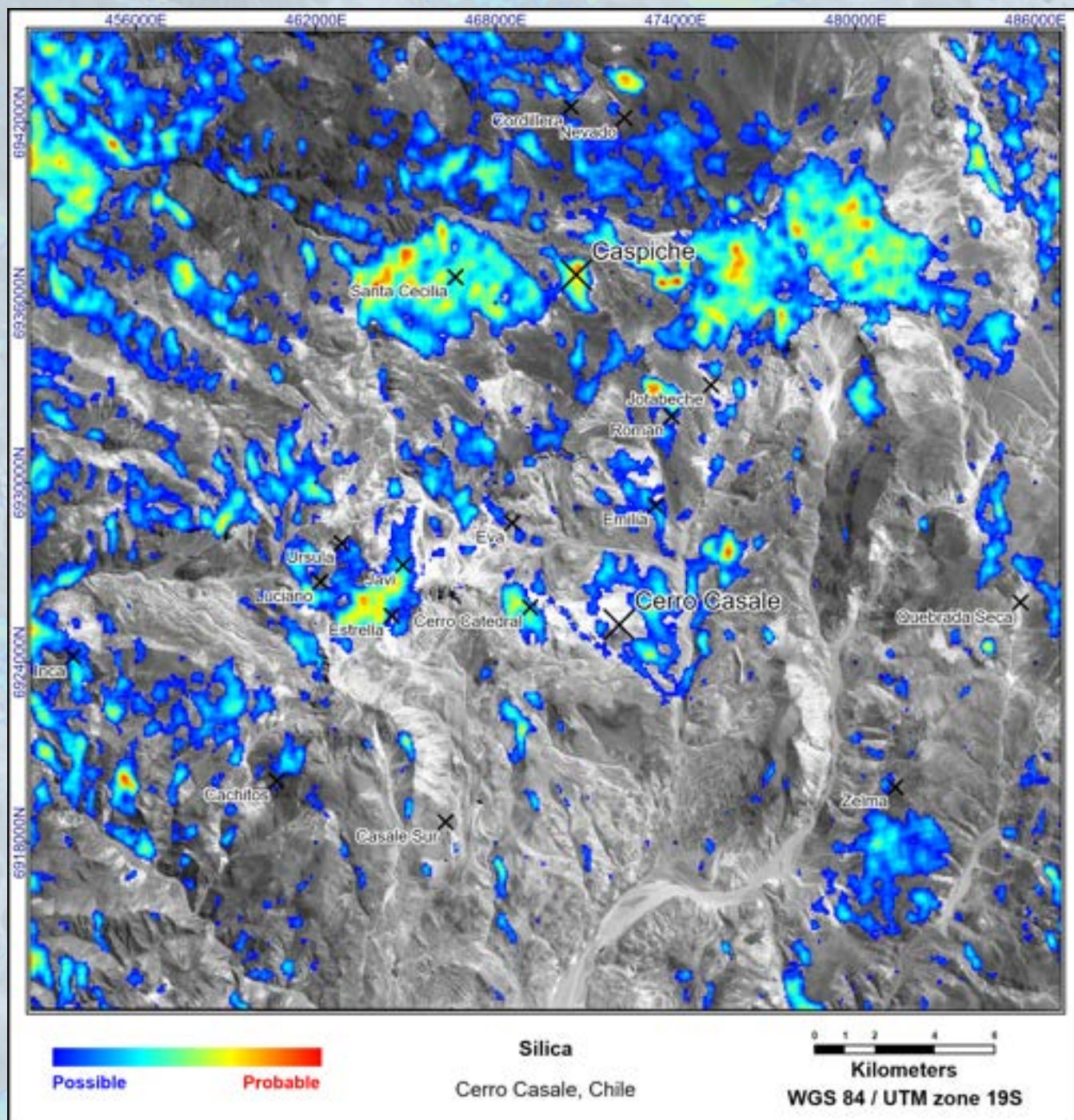
Lista de Imágenes Contextuales

Las imágenes contextuales tienen como objetivo utilizarse junto con los archivos de minerales de alteración para proporcionar contexto espacial adicional a los resultados.

- 10 m Imagen en Color
- 10 m Imagen Realzada para Geología
- 10 m Imagen en Escala de Grises
- 25 m Imagen de Intensidad de Vegetación
- 25 m Imagen Realzada con SWIR
- 10 m Imagen de Combinación de Bandas según Sabins
- 10 m Imagen de Combinación de Fórmula Sultan

Imágenes de Alteración

Figura 5. Mapa de distribución de sílice. La sílice (y/o el cuarzo) es común en la mayoría de los tipos de roca. La inundación de sílice ("silica flooding") es común en sistemas hidrotermales, particularmente asociada con litocapas, indicando amplias zonas de alteración hidrotermal, especialmente en el entorno de la litocapa, y puede ayudar a indicar zonas amplias de alteración hidrotermal.



Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) en Cerro Casale y Caspiche

Figura 6. Mapa de Distribución de Ópalo/Calcedonia. El ópalo y la calcedonia son tipos de sílice que se pueden identificar utilizando datos SWIR porque contienen agua estructural. En los sistemas pórfido-epitermales, el ópalo/calcedonia puede dar indicios de paleo-niveles freáticos, zonas de descarga de fluidos, sinters de sílica y, en ocasiones, puede encontrarse asociado con las zonas de cuarzo vuggy en el núcleo de los sistemas epitermales de alta sulfuración.

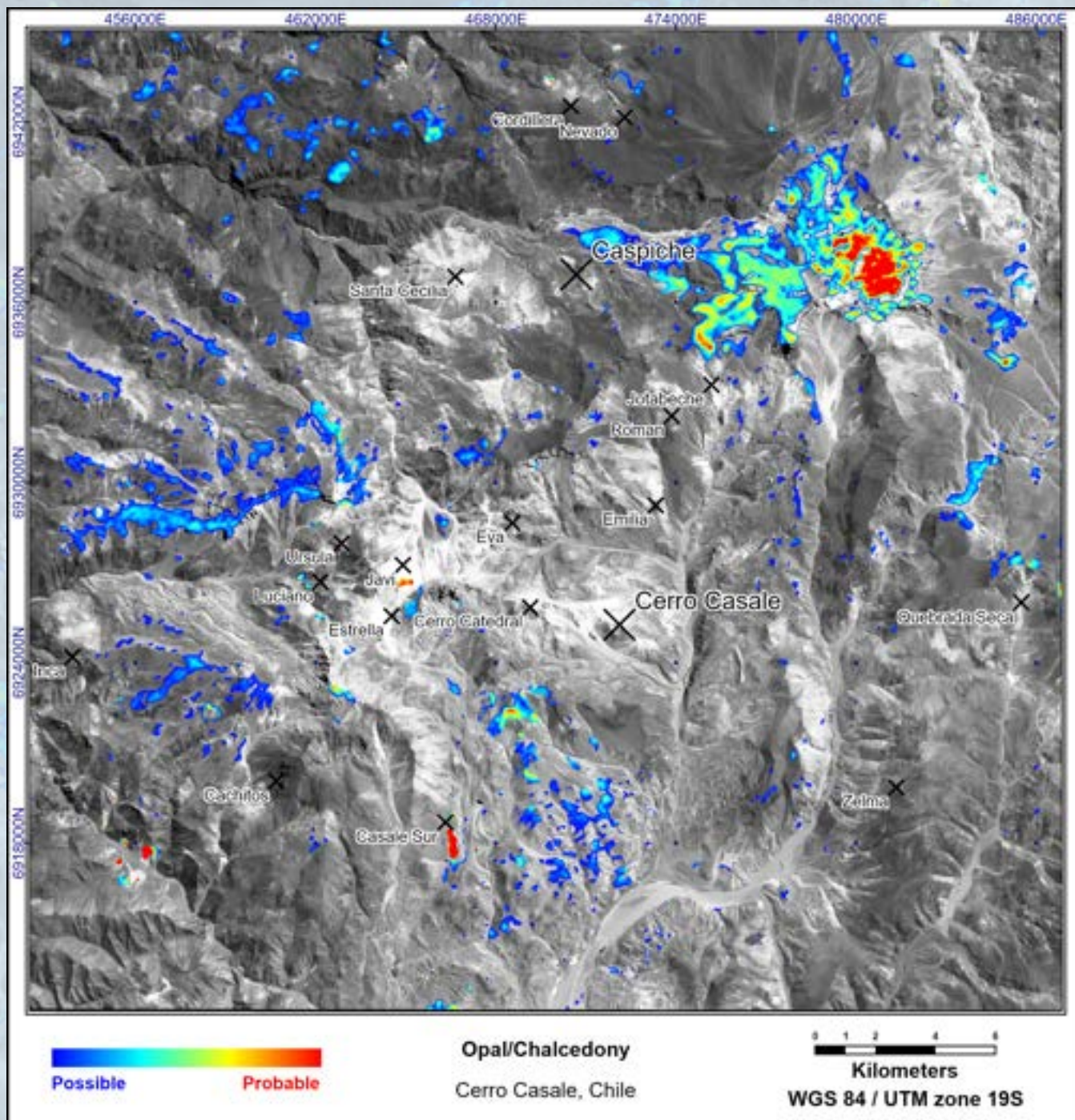
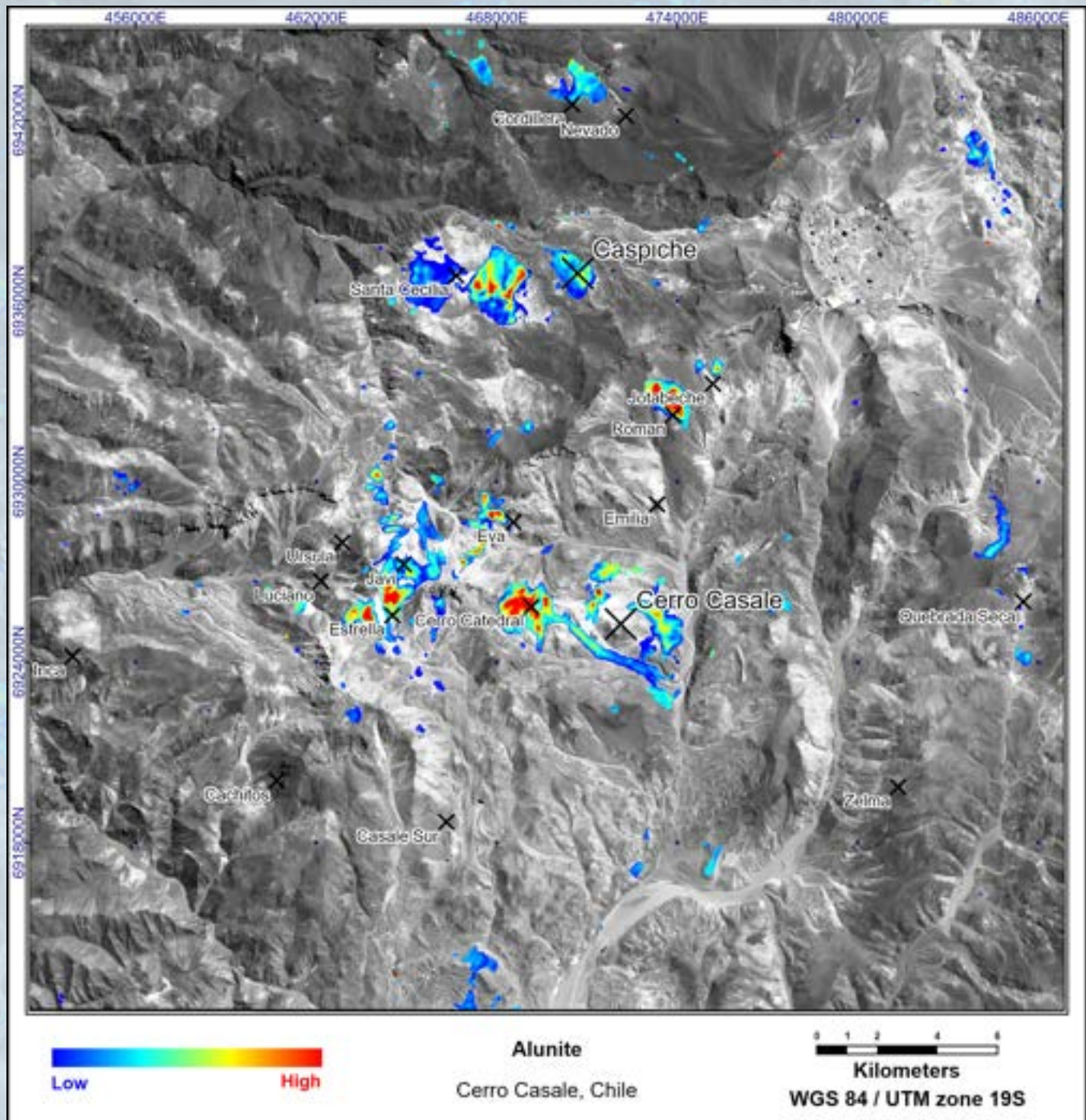


Figura 7. Mapa de abundancia relativa de alunita. La alunita es un mineral de alteración clave en zonas de alteración argílica avanzada en ambientes altamente acidicos. A menudo se forma cerca del centro de los sistemas epitermales de alta sulfuración justo en los límites de las principales zonas mineralizadas dentro de la litocapa. La alteración argílica avanzada puede a veces superimponerse a sistemas pórfidos, como se observa en Cerro Casale y Caspiche.



Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) en Cerro Casale y Caspiche

Figura 8. Mapa de distribución de alunita sódica. La alunita forma una solución sólida con composicional ricas en sodio (Na) y potasio (K). El mapeo de alunita rica en sodio a veces puede ser un indicador de alteración de temperatura más alta relacionada con procesos hipogénicos.

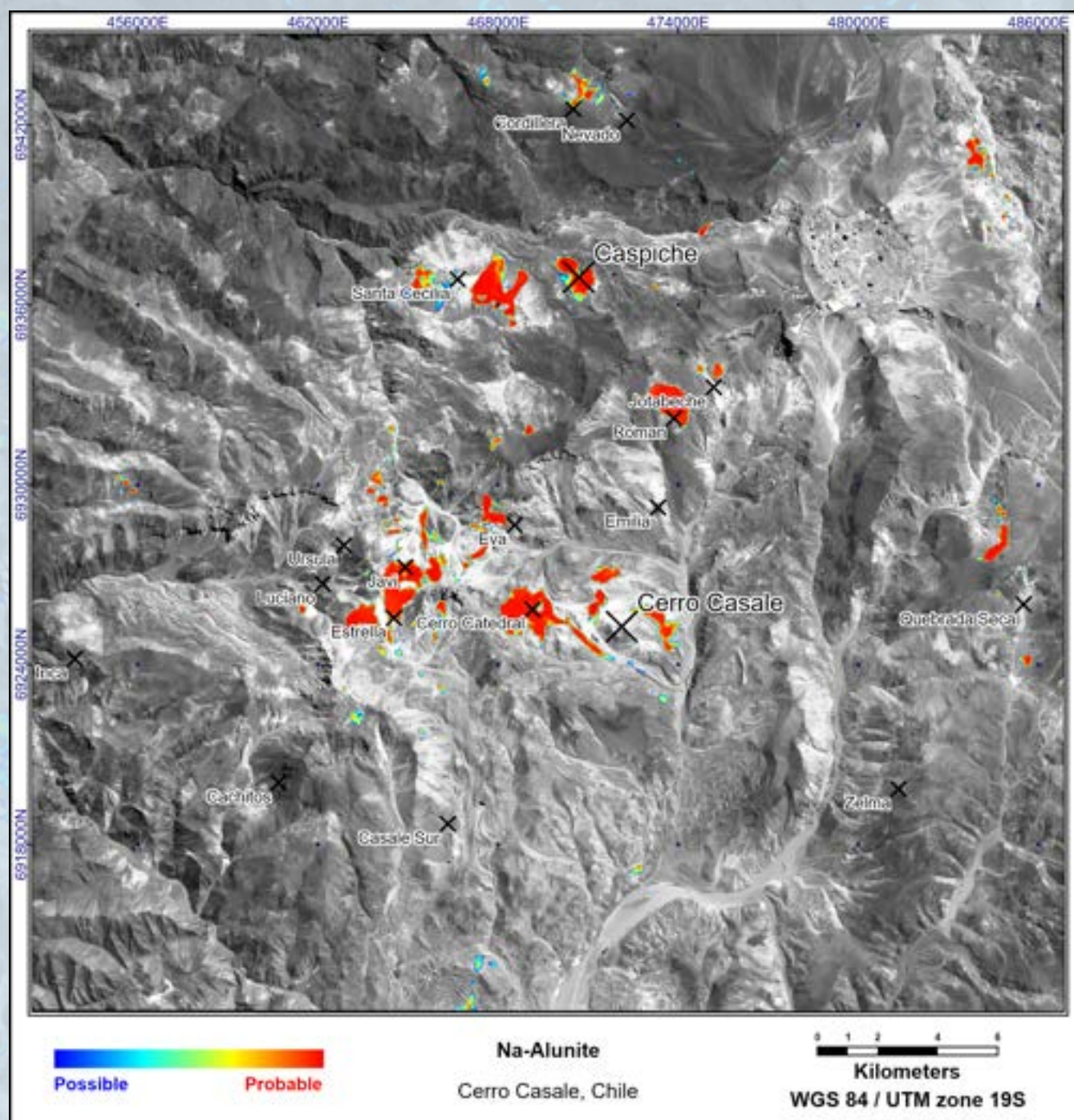


Figura 9. Mapa de distribución de alunita potásica. La alunita forma una solución sólida composicional ricas en sodio (Na) y potasio (K). El mapeo de alunita rica en potasio puede ayudar a diferenciar la alunita formada a través de procesos supergénicos en lugar de procesos hipogénicos.

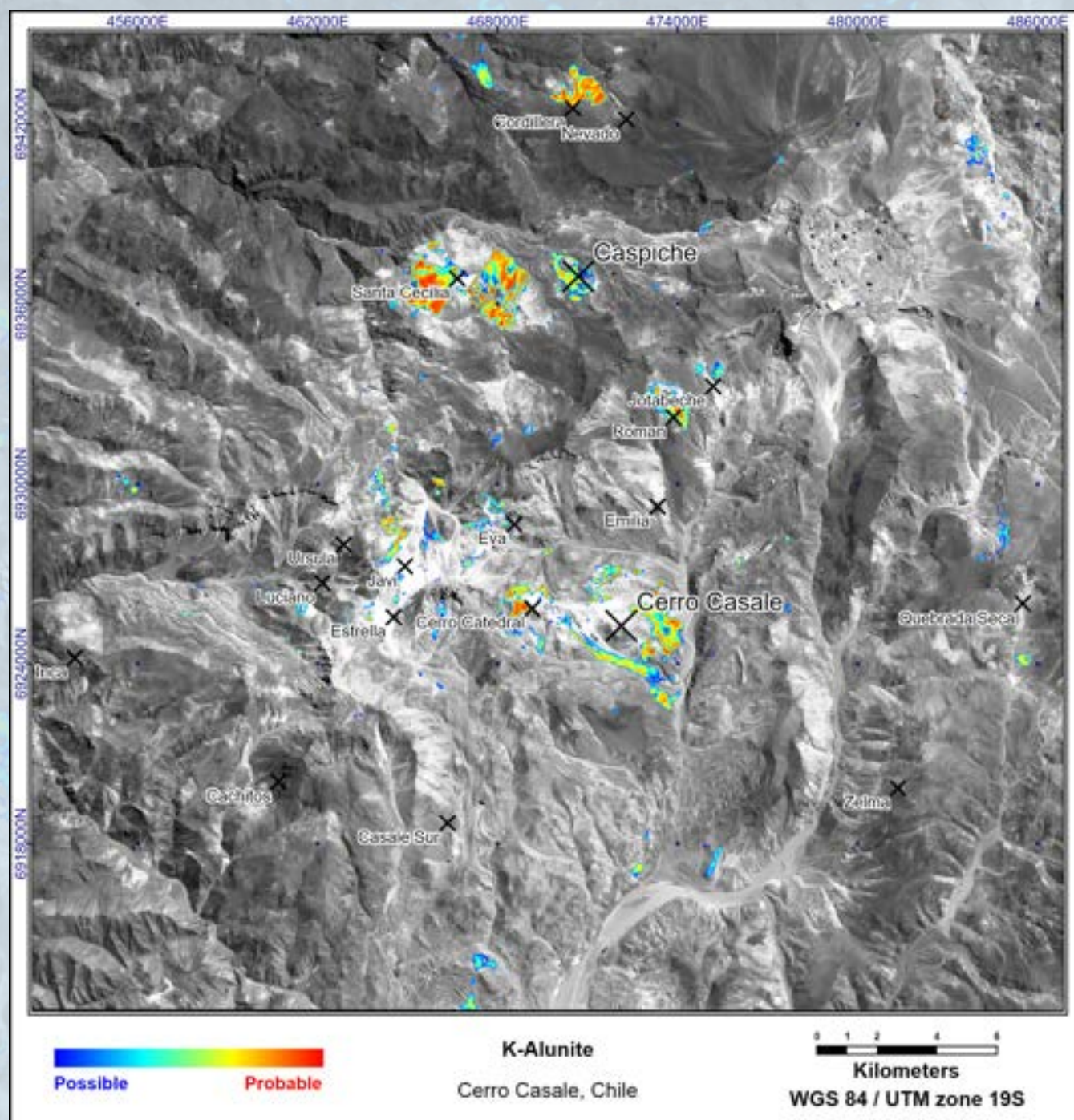
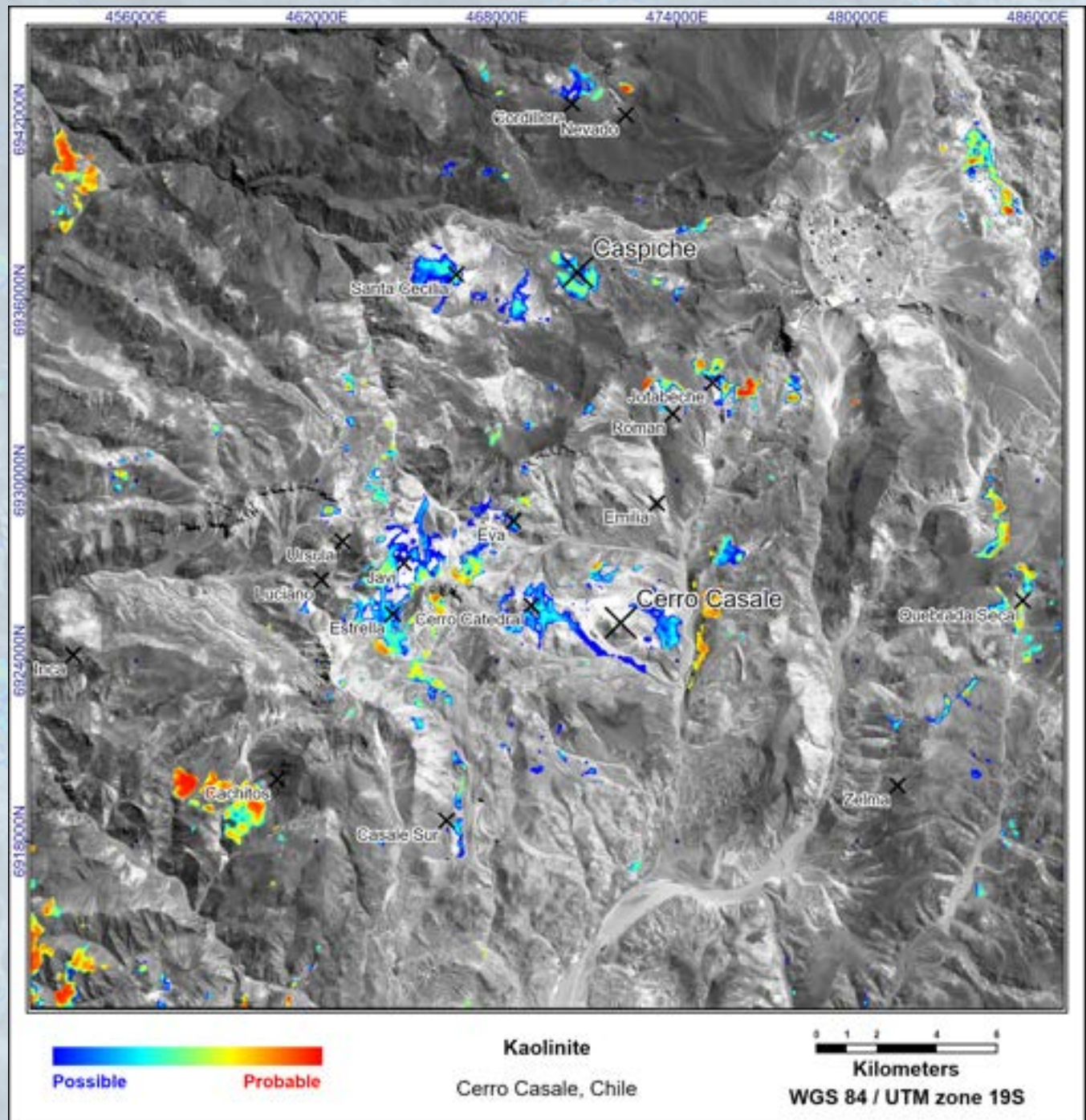


Figura 10. Mapa de distribución de caolinita. La caolinita es un importante mineral de alteración argílica y a menudo puede ser un buen indicador para los sistemas de formación de minerales hidrotermales que se producen dentro de las zonas argílicas y argílicas avanzadas de los sistemas pórfido-epitermales. La caolinita se forma a través de muchos otros procesos, por lo que su presencia debe considerarse en contexto con otros minerales indicadores hidrotermales comunes. Este resultado probablemente incluya caolinita de baja cristalinidad y caolinita de alta cristalinidad.



Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) en Cerro Casale y Caspiche

Figura 11. Mapa de distribución de dickita. La dickita es un mineral del grupo de la caolinita que a menudo se produce en zonas de alteración argílica avanzada en ambientes altamente ácidos (o ácidos) y asociados con litocapas. La dickita normalmente se forma cerca de las zonas de ascenso de fluidos, transicionando lateralmente a caolinita lateralmente hacia caolinita. Este resultado probablemente también incluye algunas áreas que contienen caolinita de alta cristalinidad, ya que pueden ser muy similares espectralmente.

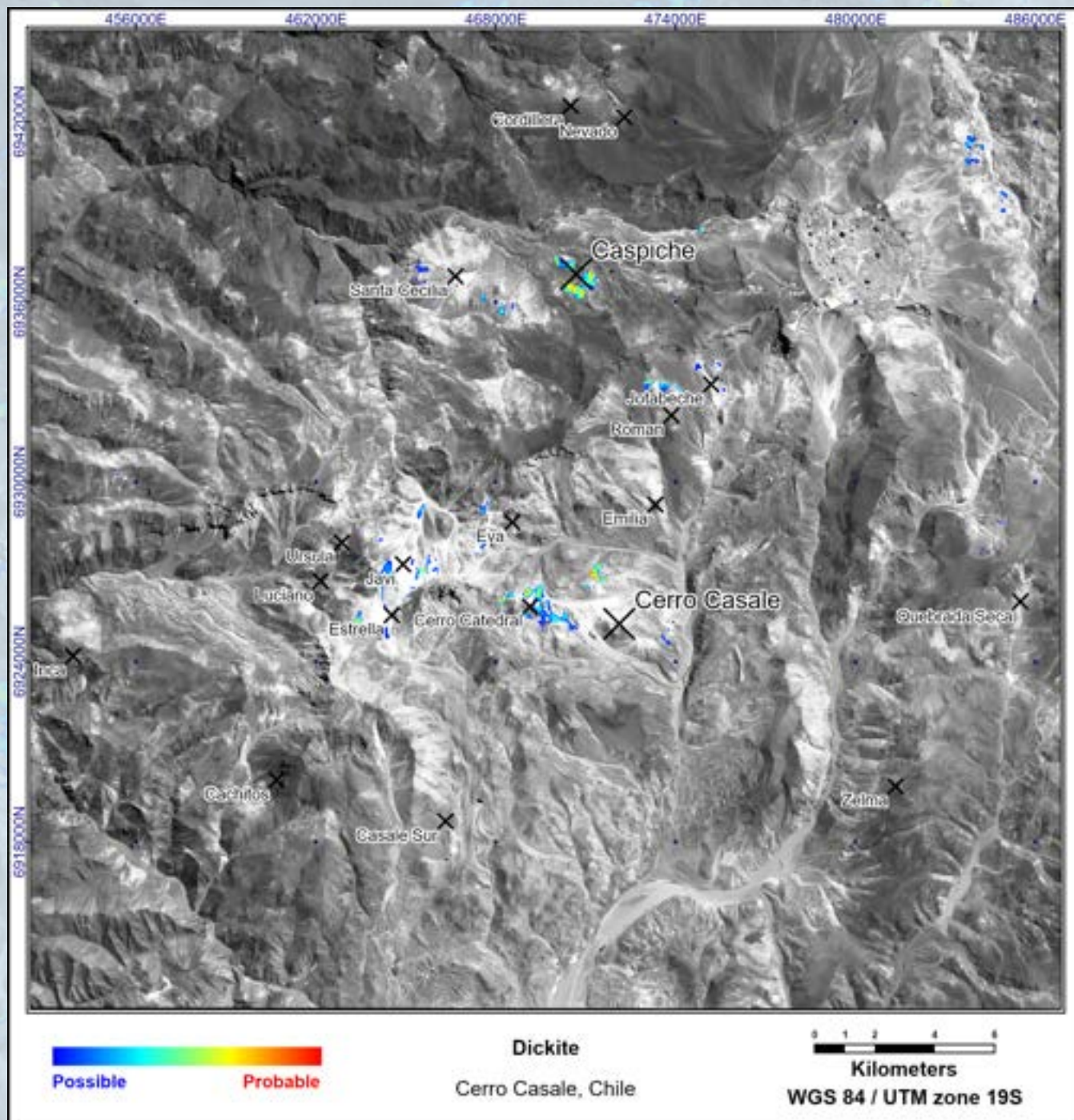


Figura 12. Mapa de distribución de pirofilita. La pirofilita es un mineral clave que indica condiciones de alta temperatura asociado con alteración argílica avanzada, y que se produce en ambientes de alta sulfuración cerca de la base de las litocapas en proximidad del núcleo del sistema, marcando el entorno de transición hacia ambiente porfido.

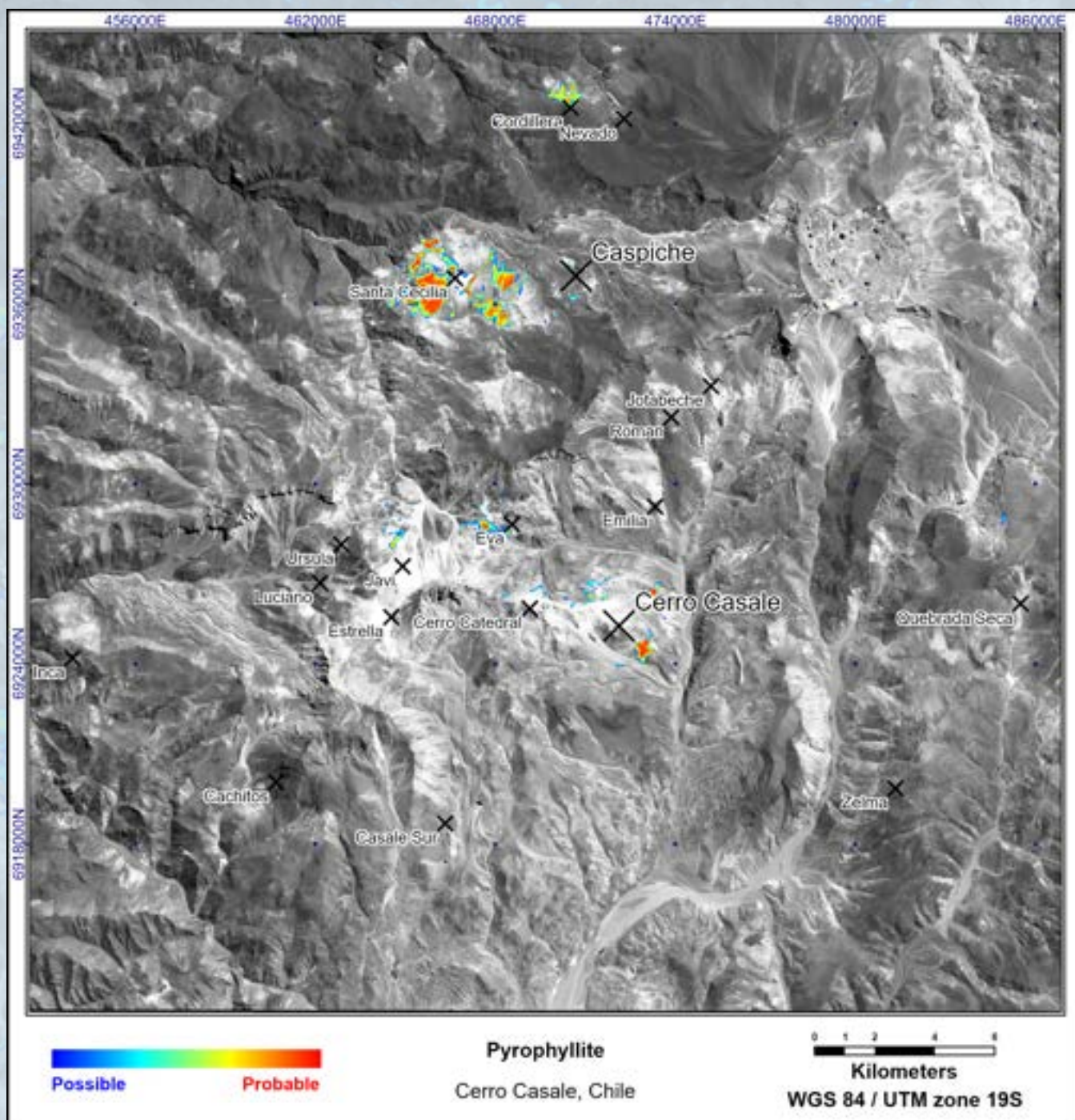


Figura 13. Mapa de distribución de jarosita. La jarosita se forma en condiciones altamente ácidas, oxidantes y ricas en sulfatos, comunes tanto en condiciones hipogénicas como supergénicas. En entornos hipogénicos, normalmente se produce como parte de la asociación mineral de alteración argílica avanzada en sistemas de alta sulfuración en zonas de litocapa. En condiciones supergénicas, se presenta comúnmente en gossans formados por la meteorización de sulfuros, a menudo asociados a cuerpos mineralizados.

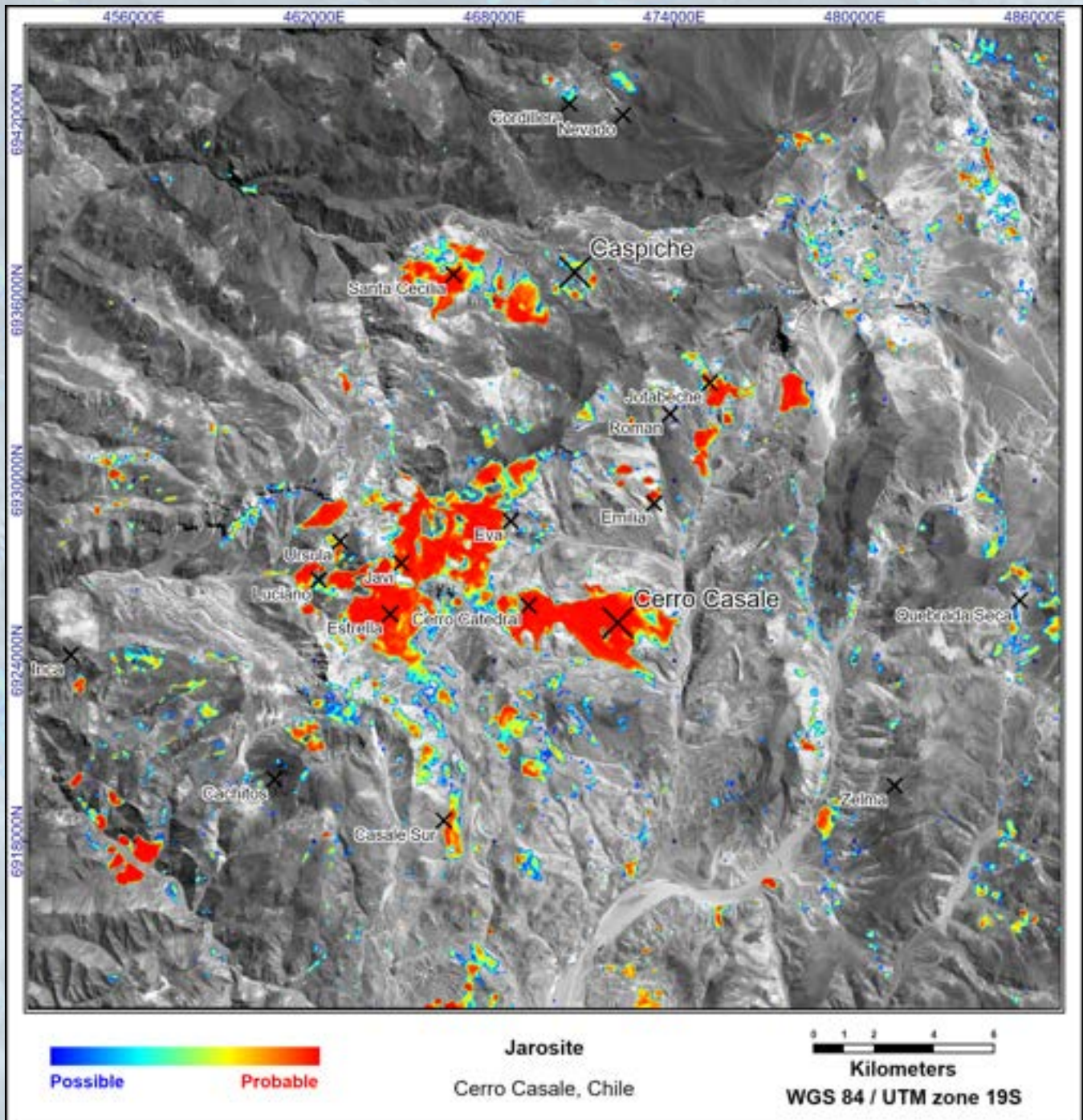


Figura 14. Mapa de abundancia relativa de moscovita. Tipo de mica blanca. La moscovita de grano fino (sericita) tiende a formarse en las zonas de alteración fílica de los sistemas pórfidos. Su abundancia puede ser un buen indicador de la intensidad de la zona de alteración fílica. También es un mineral común en rocas metamórficas y graníticas, por lo que su presencia debe utilizarse junto con otros minerales de alteración hidrotermal comunes. Diferenciar la moscovita de la illita ayuda a distinguir mejor entre los procesos hidrotermales/metamórficos y supergénicos.

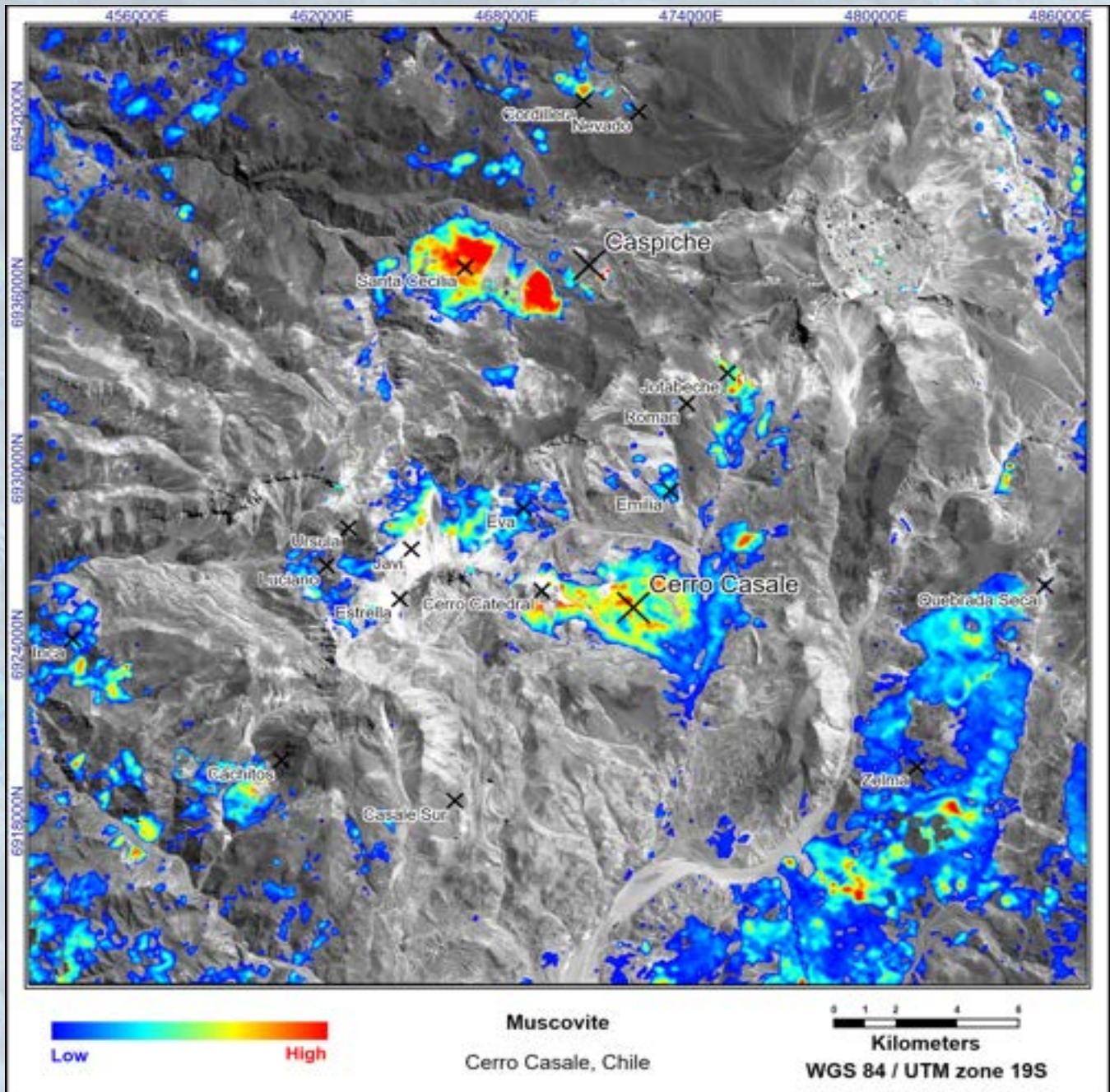
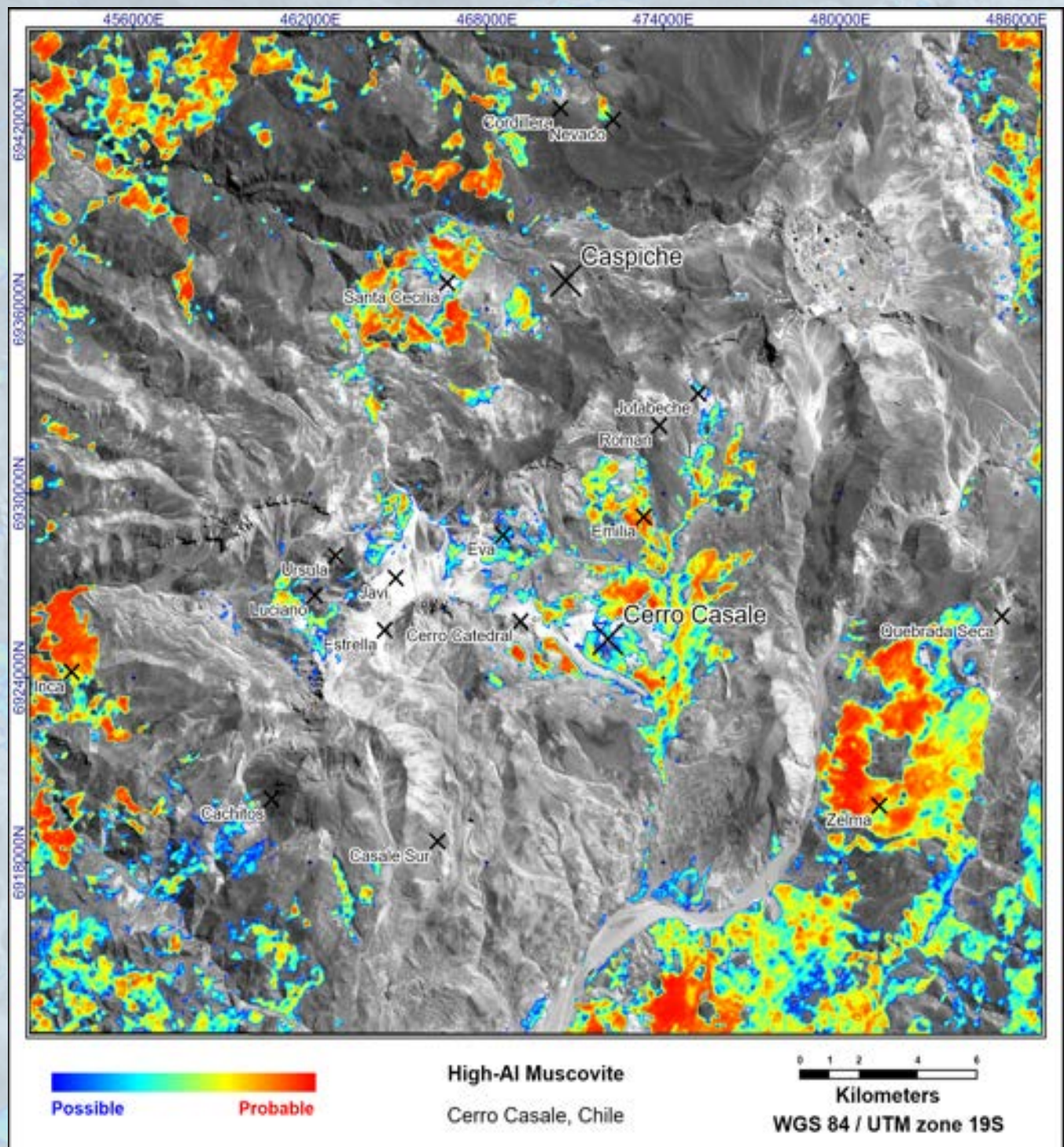


Figura 15. Mapa de distribución de Muscovita rica en Aluminio. Tipo de mica blanca. La moscovita rica en aluminio (Al) se puede diferenciar en función de un desplazamiento hacia longitudes de onda menores de la característica principal de diagnóstico. Un mayor contenido de aluminio en la moscovita puede indicar procesos de mayor temperatura, lo que significa que a veces se puede utilizar como vector hacia el núcleo del sistema pórfido. Esto a veces puede variar debido a la interacción de los fluidos hidrotermales con varias composiciones de roca encajante.



Identificación Hiperspectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) en Cerro Casale y Caspiche

Figura 16. Mapa de distribución de muscovita baja en Aluminio. Tipo de mica blanca. La muscovita baja en Aluminio (Al) se puede diferenciar en función de un desplazamiento hacia longitudes de onda mayores de la característica principal de diagnóstico. Un menor contenido de aluminio de la muscovita puede indicar más composiciones ricas en hierro y sílice, generalmente se presentan en zonas más distales del centro del pórfido. En algunos casos, esto se puede invertir debido a que los fluidos hidrotermales interactúan con varias rocas encajantes ricas en hierro.

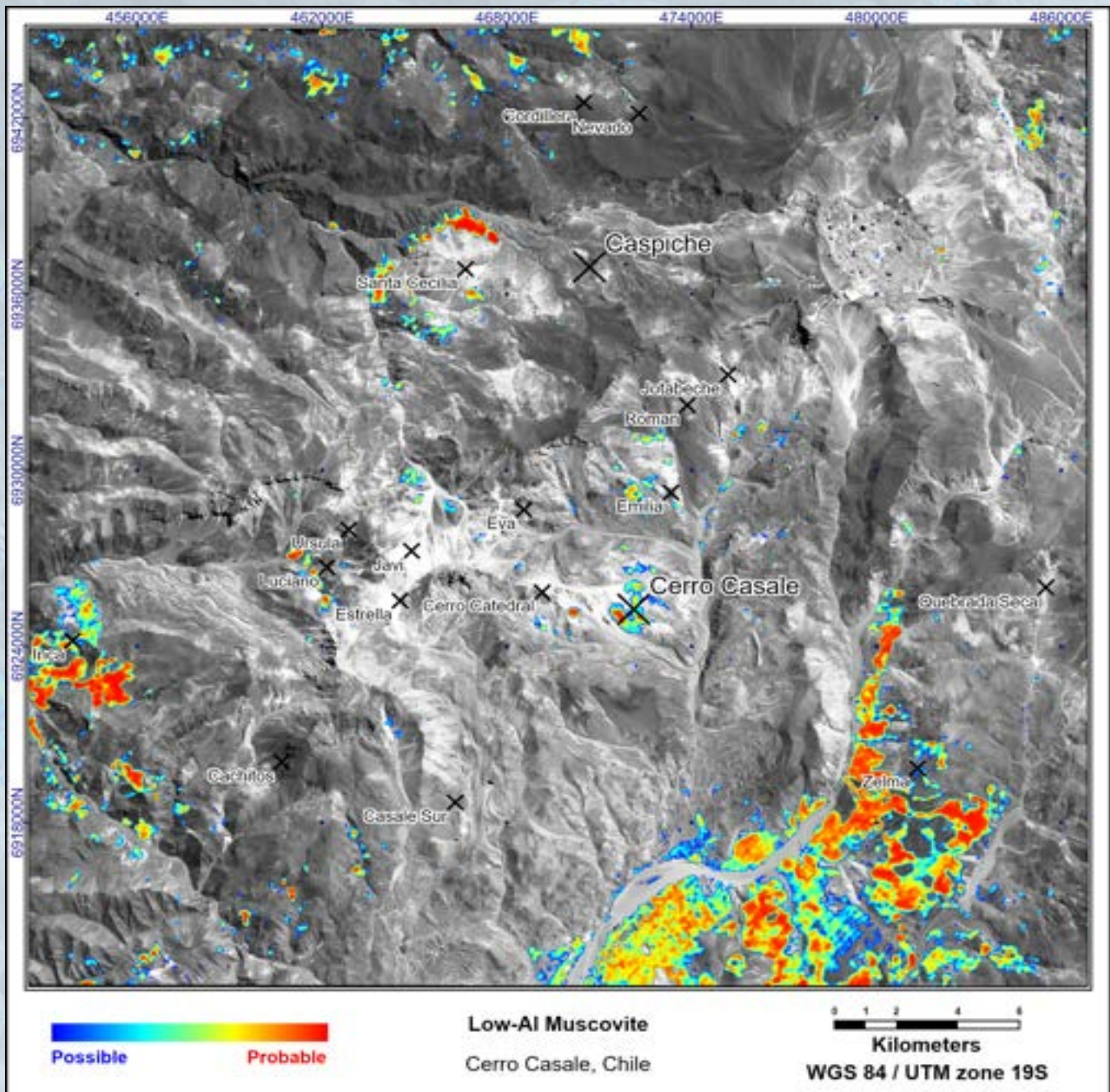


Figura 17. Mapa de distribución de illita. La illita es un mineral arcilloso que a menudo presenta un aspecto similar a la moscovita, tanto espectralmente como en la muestra de mano; sin embargo, tiende a presentarse en entornos de alteración argílica a menor temperatura, como en sistemas hidrotermales poco profundos, incluidos los sistemas epitermales de baja sulfuración, o por metamorfismo de enterramiento / meteorización cercana a superficie de minerales feldespáticos.

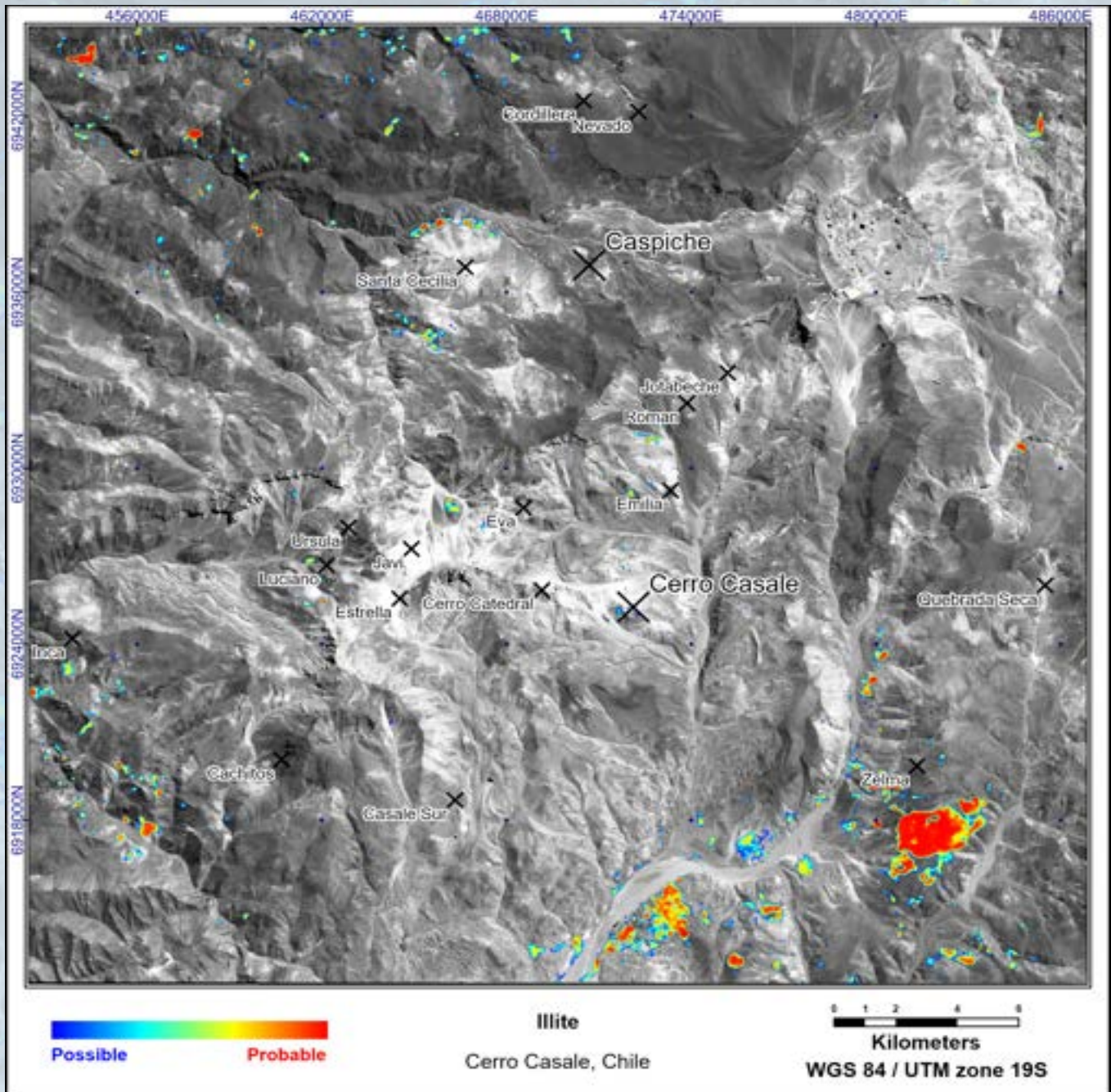


Figura 18. Mapa de distribución de montmorillonita. La montmorillonita es una arcilla expansiva del grupo de la esmectita que a veces puede parecerse a la sericita o a la illita en muestra de mano. La montmorillonita suele indicar un entorno distal mucho más frío en los sistemas hidrotermales, que a menudo se forma cerca de los bordes de las zonas de alteración argílica. La montmorillonita es un mineral común en suelos, rocas sedimentarias y perfiles de meteorización; por lo tanto, su presencia debe considerarse junto con otros minerales hidrotermales.

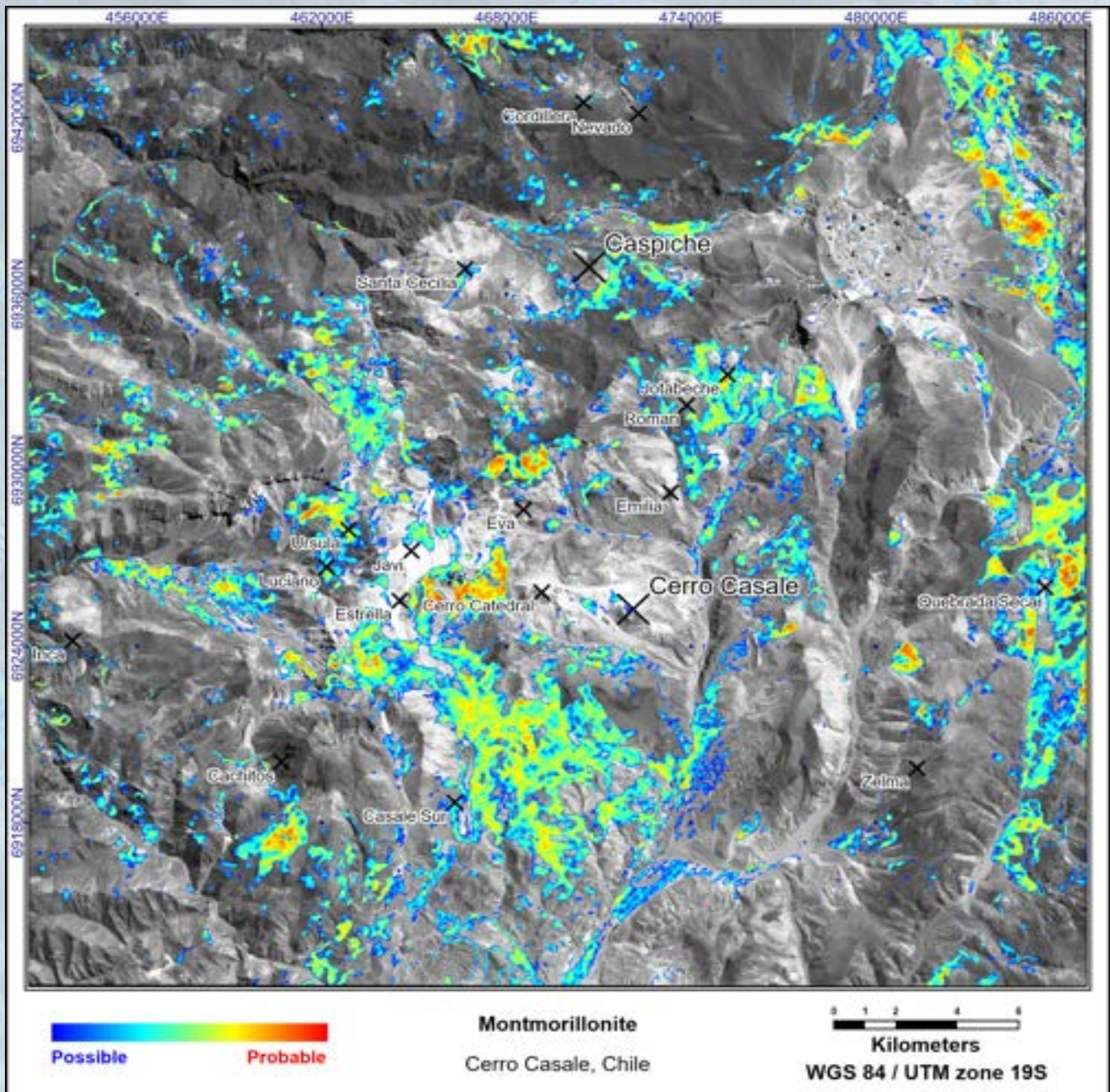
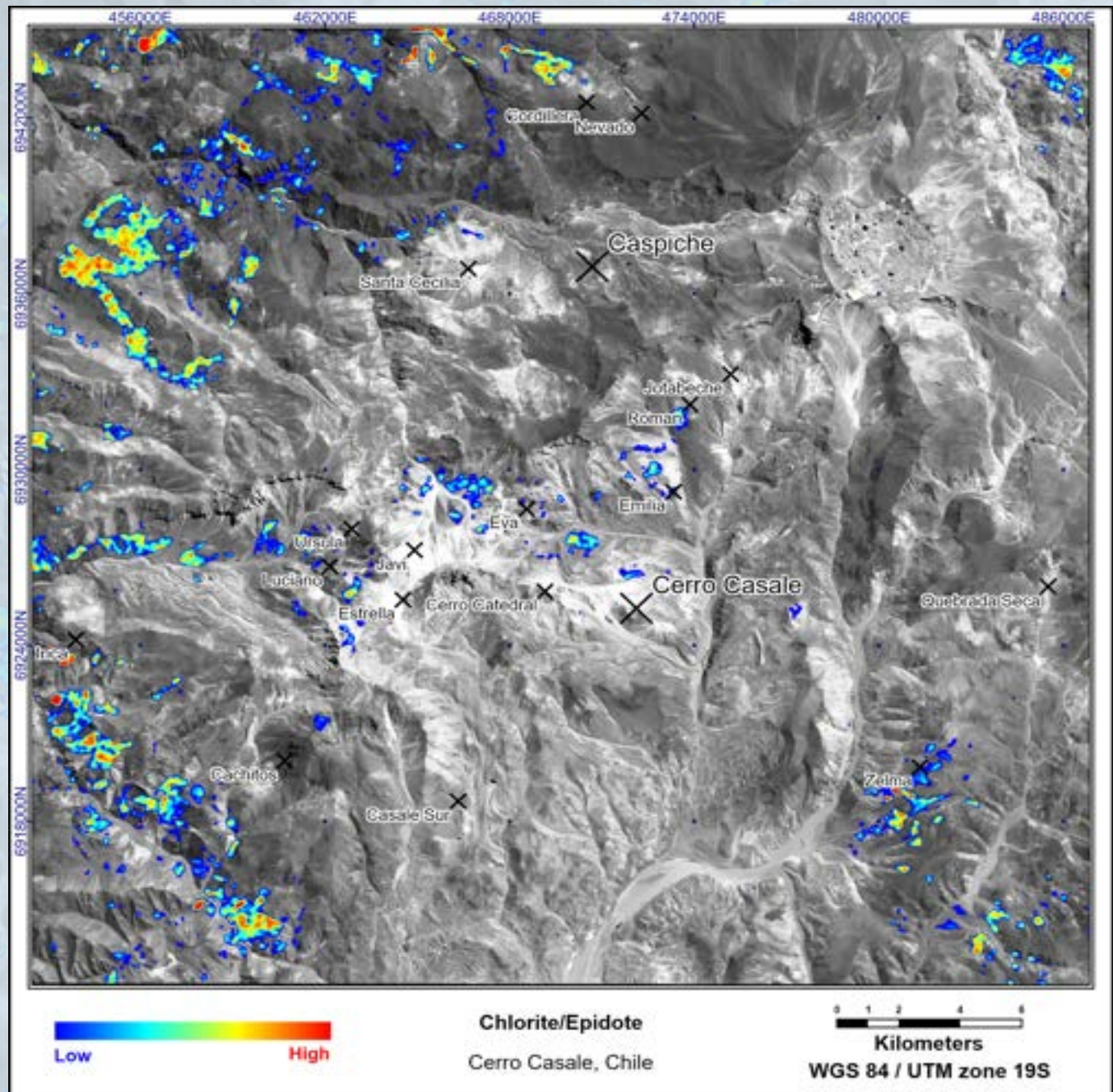


Figura 19. Mapa de abundancia relativa de clorita/epidota. La clorita y la epidota pueden indicar zonas de alteración propilítica, que se producen en las zonas periféricas de pH neutro y más frías de los sistemas pórfido-epitermales. La alteración propilítica es a menudo la zona de alteración más extensa y puede ayudar a indicar cuerpos mineralizados incluso cuando las zonas de alteración más proximales están cubiertas. También es un mineral común en algunos tipos de roca primaria, por lo que puede no estar siempre relacionado con fenómenos hidrotermales. La química de la clorita/epidota, como el contenido de Fe vs Mg, a veces se puede utilizar como vector hacia el núcleo de alta temperatura. Esto es posible con datos hiperespectrales, pero no se muestra aquí debido a la respuesta mínima de la clorita/epidota.



Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) en Cerro Casale y Caspiche

Figura 20. Mapa de distribución de calcita. La calcita es un mineral de alteración hidrotermal común en los sistemas pórfido-epitermales, que se desarrolla con mayor frecuencia junto con la clorita/epidota en la zona de alteración propilítica. A veces, también se forma como un relleno tardío de fracturas en sistemas pórfido-epitermales. Suele desarrollarse como calcita primaria en rocas ricas en carbonatos, como calizas.

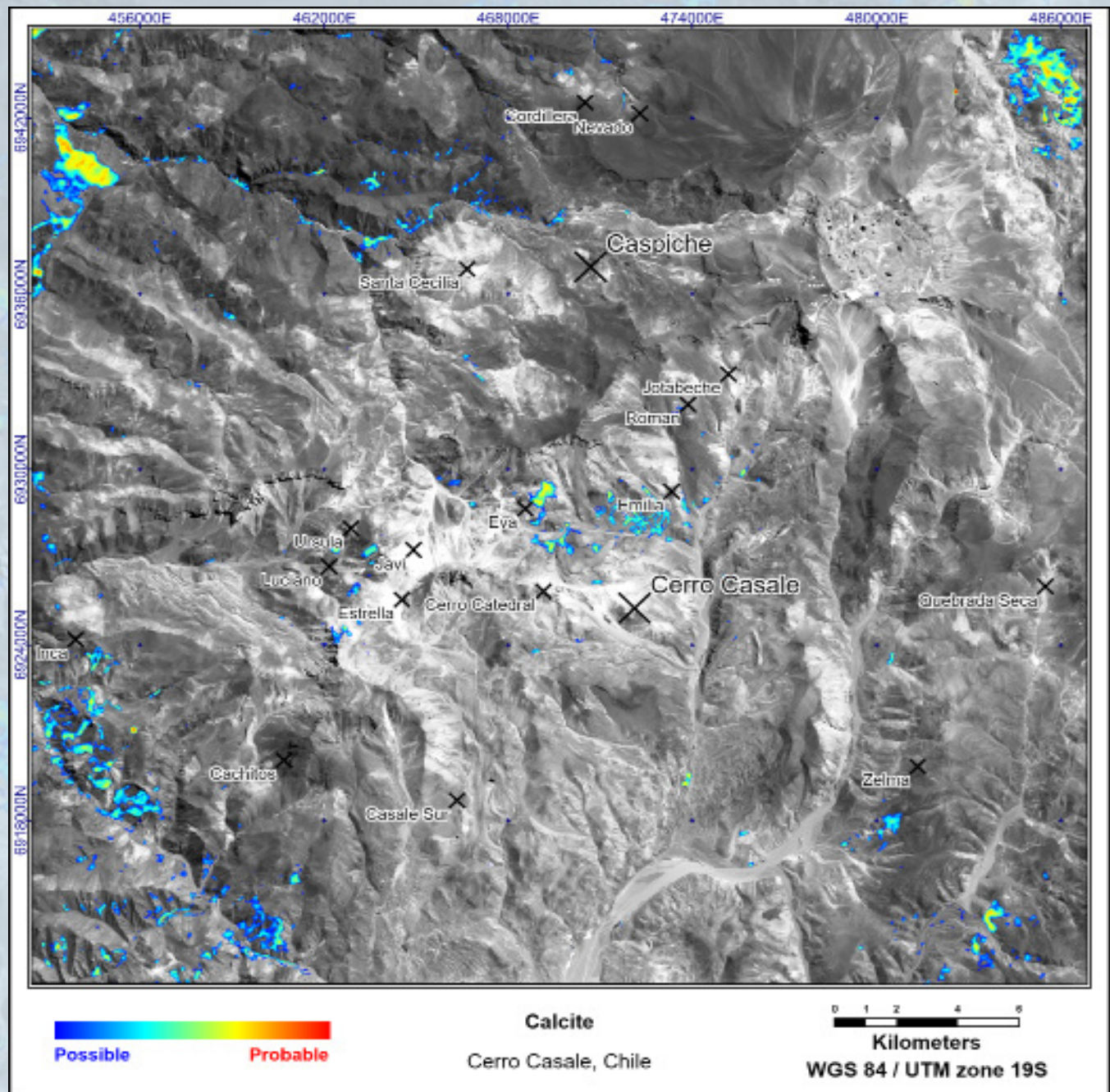


Figura 21. Mapa de distribución de goethita. La goethita es un oxihidróxido de hierro que se forma debido a la meteorización de minerales primarios portadores de hierro. De manera similar a la jarosita, se forma en condiciones de supergénicas que se producen comúnmente en los gossans formados debido a la meteorización de minerales sulfurados asociados a cuerpos mineralizados. Sin embargo, la jarosita suele ser más indicativa de condiciones de meteorización sulfática altamente ácidas comunes en zonas argílicas avanzadas de depósitos epitermales de alta sulfuración.

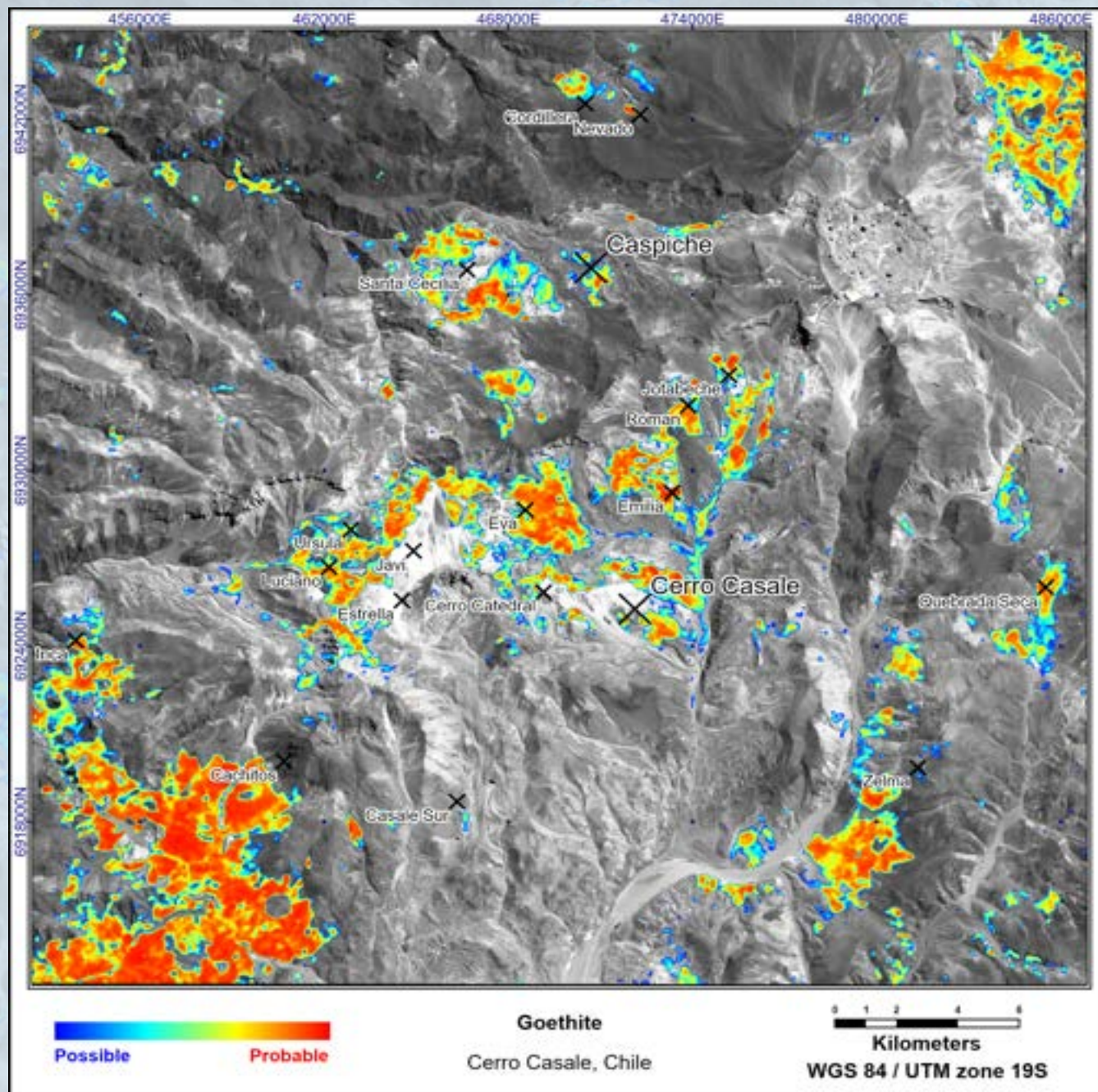
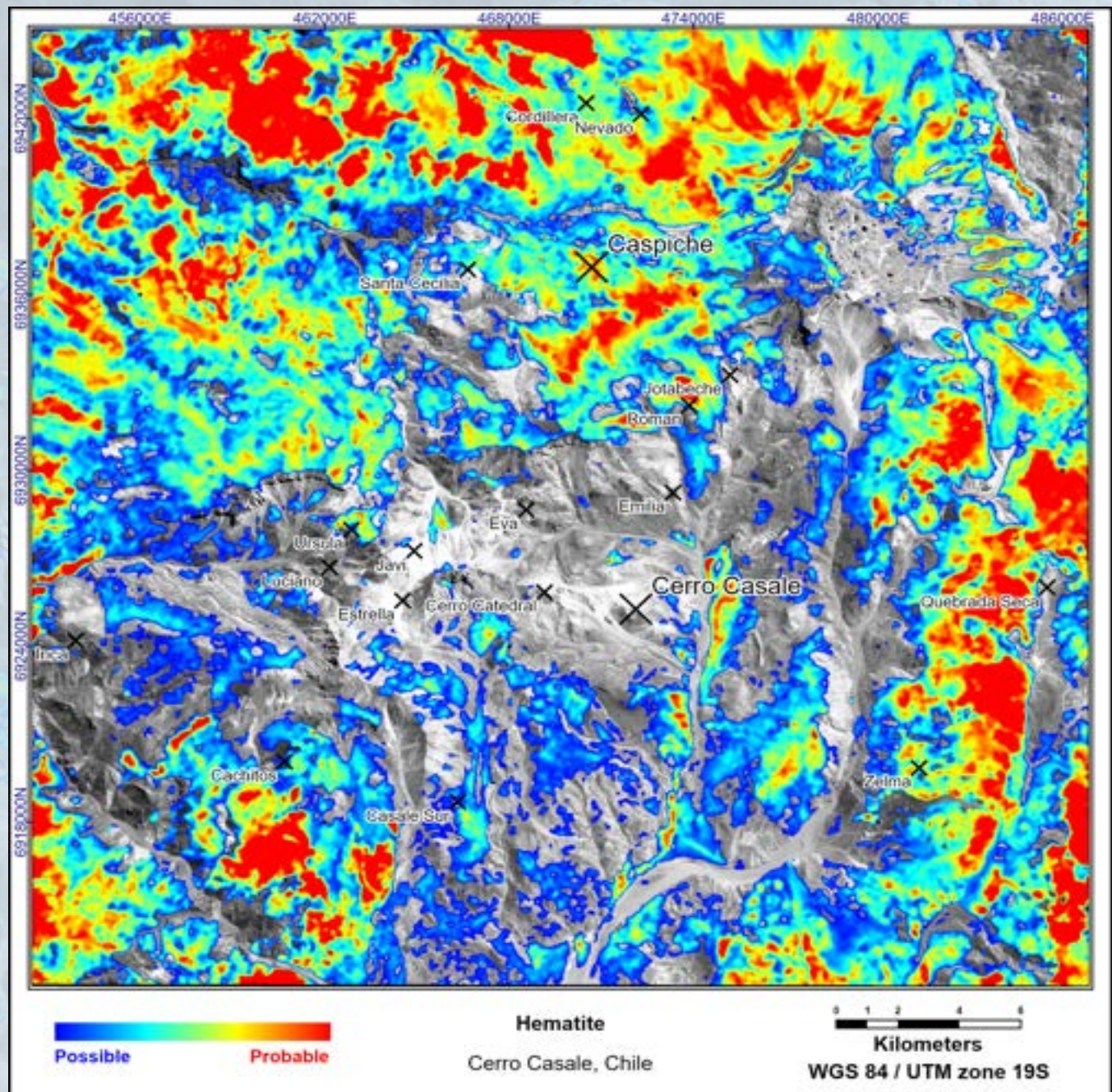
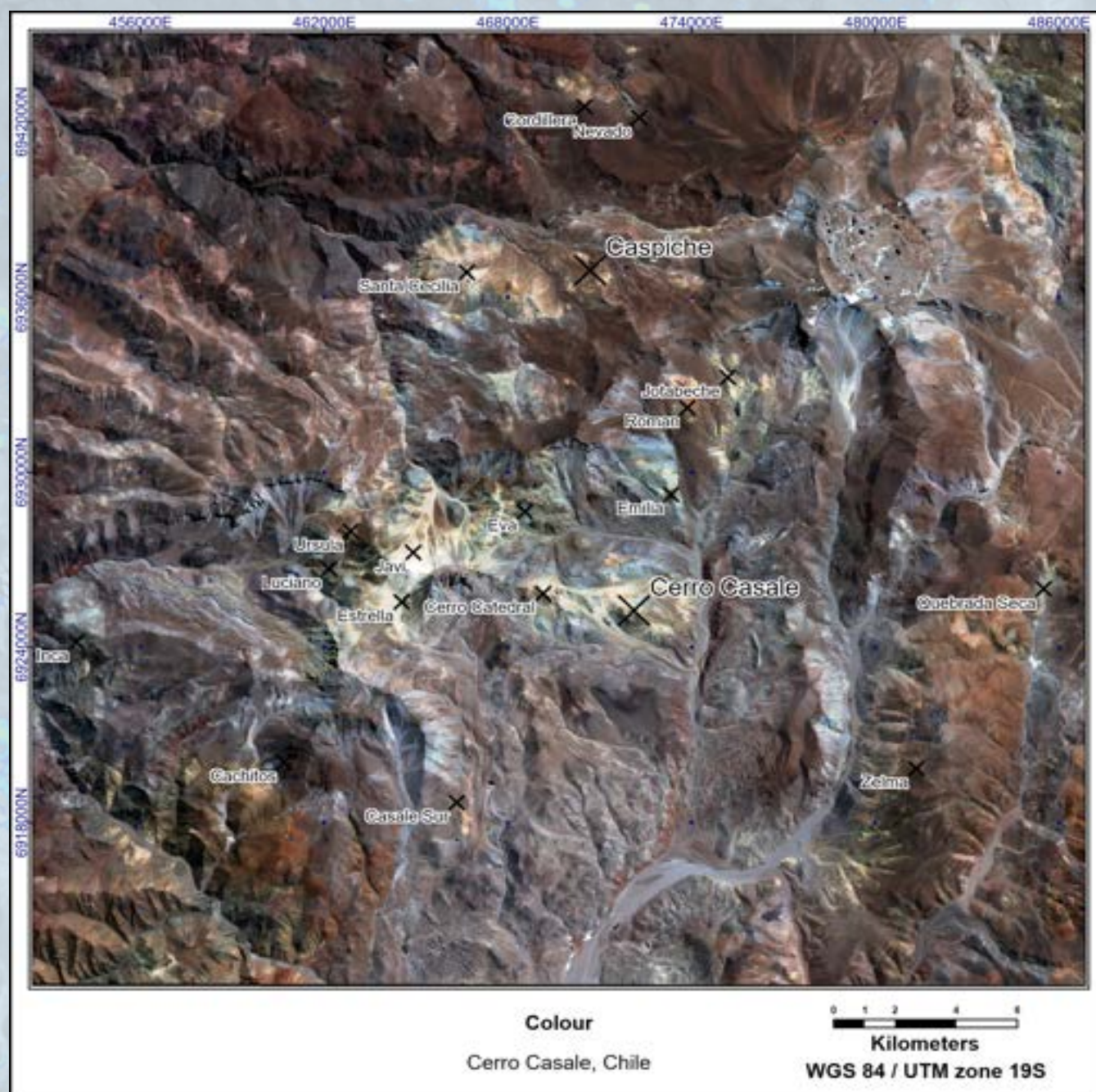


Figura 22. Mapa de distribución de hematita. La hematita es un mineral común de óxido de hierro en algunas litologías primarias y a veces se produce en depósitos hidrotermales. En los sistemas pórfido-epitermales, la hematita suele indicar condiciones altamente oxidantes. Se desarrolla con mayor frecuencia con minerales de alteración argílica avanzada, pero también puede desarrollarse a profundidad donde los fluidos hipogénicos oxidados sobrepone magnetita previa. También se encuentra en el entorno supergénico, como resultado de la meteorización prolongada y la deshidratación de la goethita en los gossans.



Imágenes Contextuales

Figura 23. Imagen en Color. Imagen RGB que muestra el área del proyecto en color natural.



Identificación Hiperespectral de Objetivos de Exploración Regional (R-HET) en Cerro Casale y Caspiche

Figura 24. Imagen en Escala de Grises. Se utiliza principalmente como imagen base al superponer los GeoTIFF minerales en GeoTIFF o shapefiles.

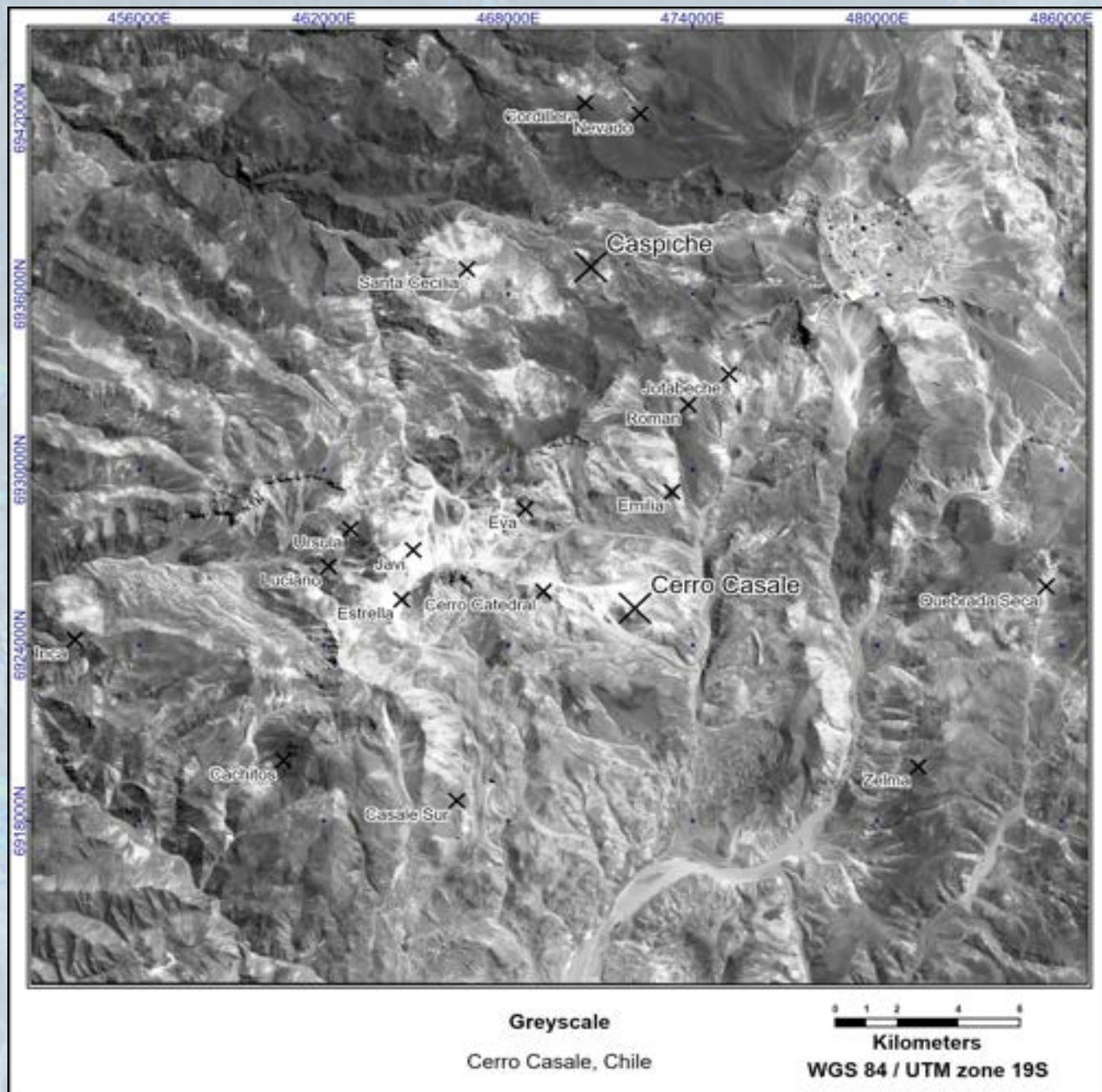


Figura 25. Imagen en Color Realzada para Geología. Imagen RGB que combina bandas VNIR y SWIR para resaltar mejor los cambios en las litologías y la alteración no visible en la imagen en color.



Figura 26. Imagen SWIR Realzada. Imagen compuesta RGB, que combina varios minerales con respuesta al SWIR para mostrarlos en diferentes colores. La alunita a menudo aparece en azul, la caolinita en morado, la mica blanca en rosado, la clorita en rojo y el ópalo/calcedonia en naranja.

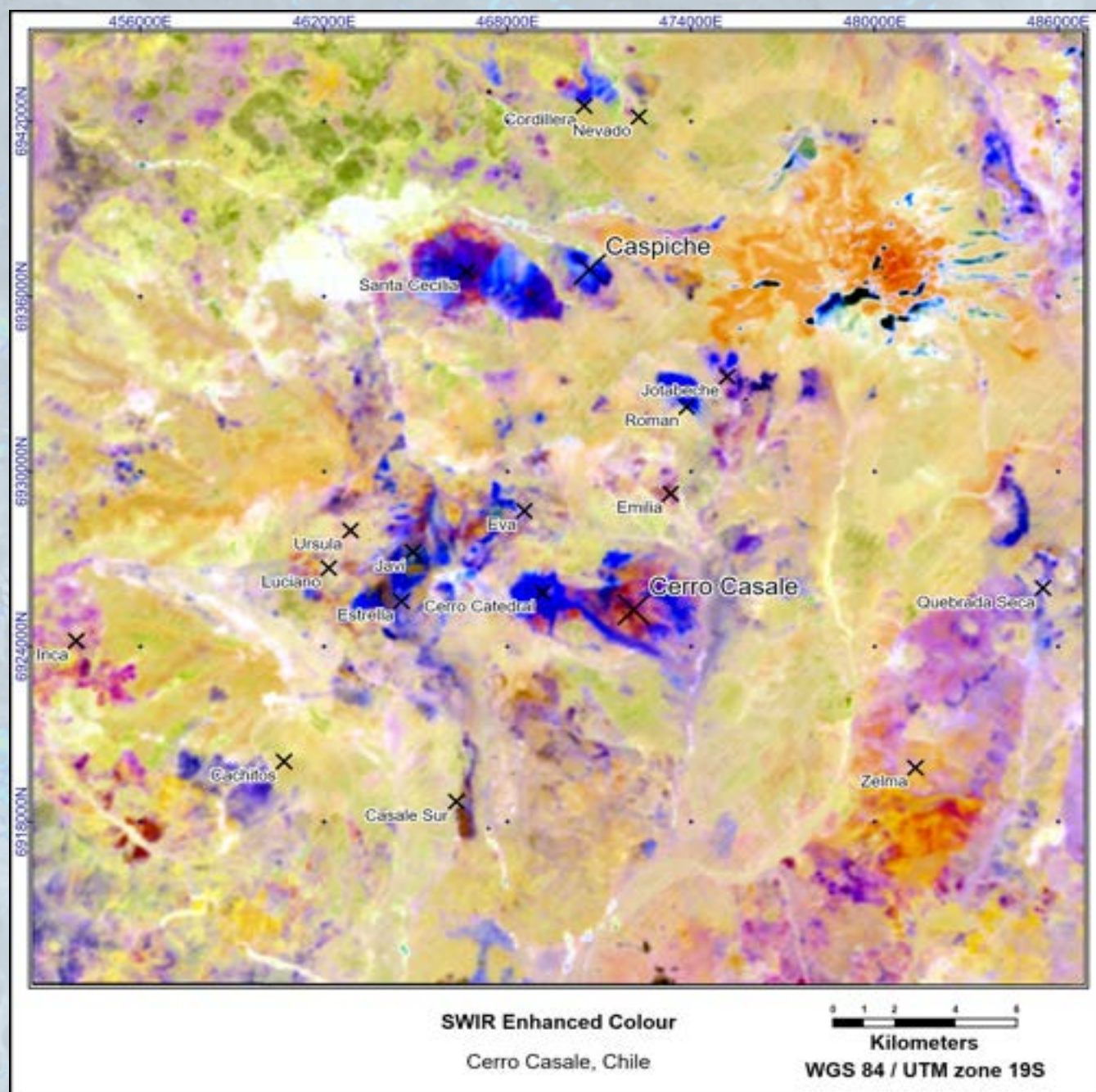


Figura 27. Composición Sabins. Imagen compuesta en RGB que utiliza una combinación de índices espectrales para resaltar mejor la variación en litologías primarias y minerales de alteración.

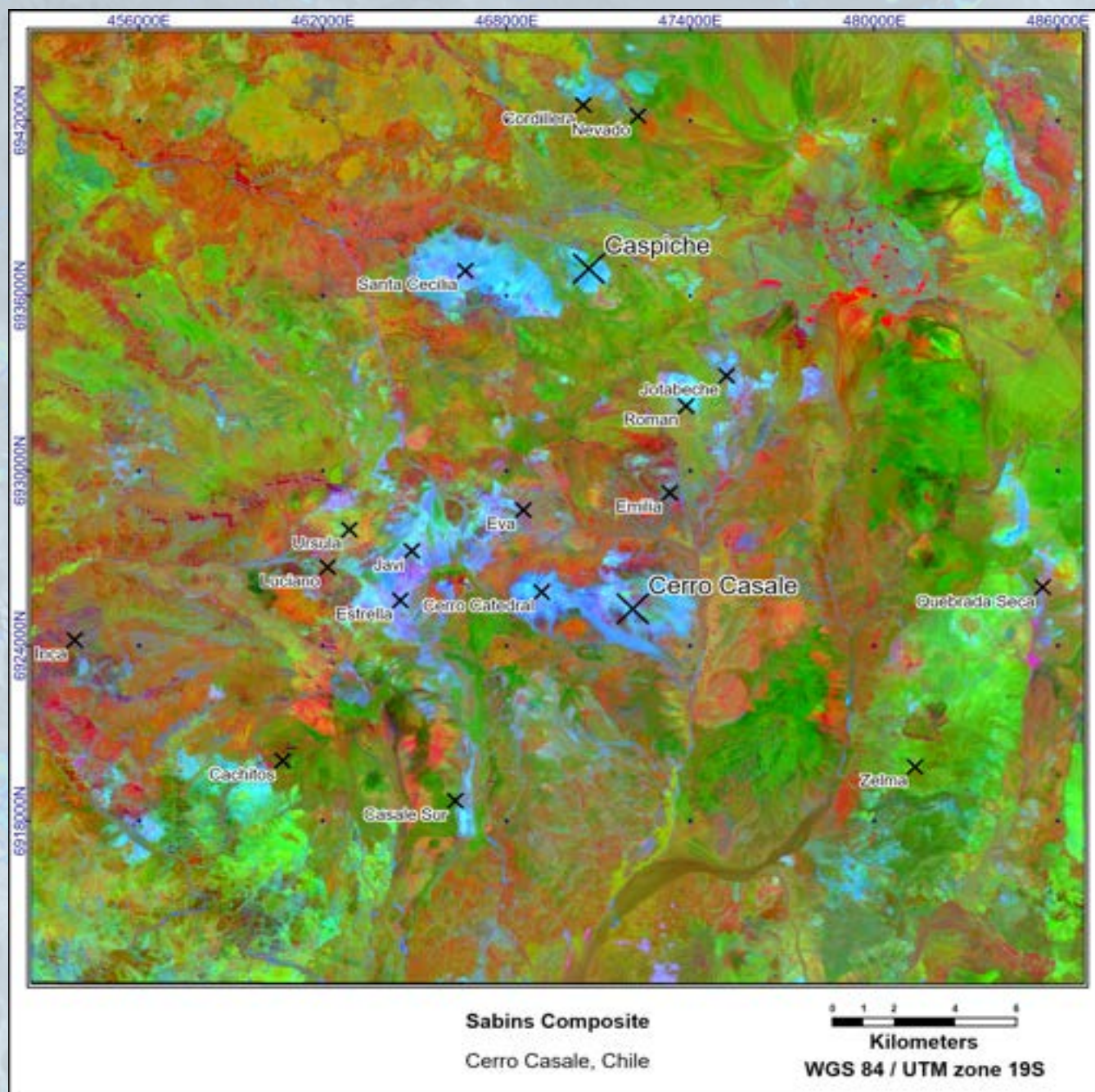
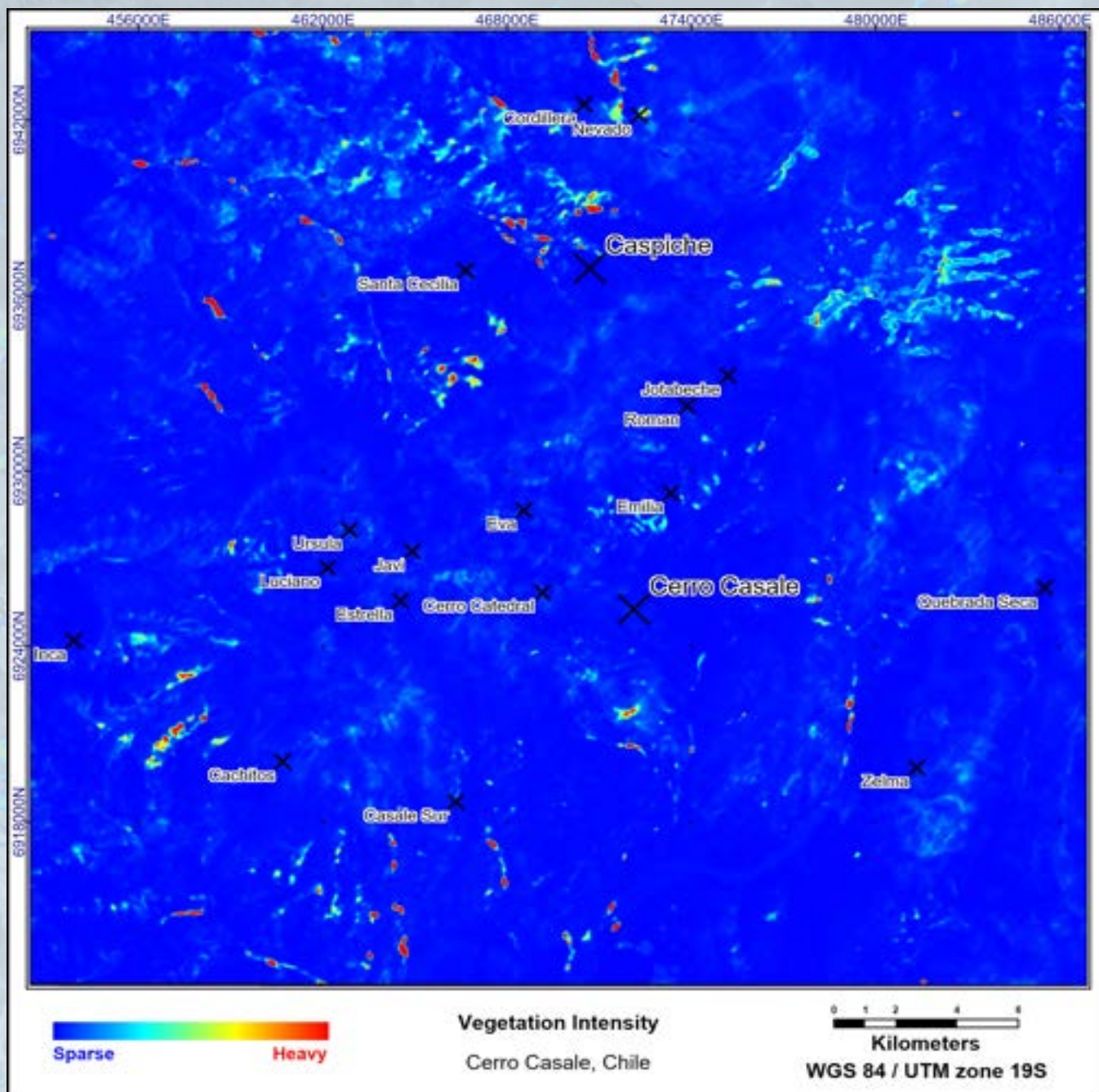


Figura 28. Composición Sultan. Imagen compuesta en RGB que utiliza una combinación de índices espectrales para resaltar mejor la variación en litologías primarias y minerales de alteración.



Figura 29. Imagen de Intensidad de Vegetación. Imagen RGB que muestra la distribución de la vegetación en el área del proyecto. Los minerales de alteración no se pueden mapear cuando la vegetación es demasiado intensa.



Fuentes

Sillitoe, R. H., Tolman, J. y Kerkvoort, G. V. (1991/2013). Geología del Yacimiento Tipo Pórfido de Oro-Cobre Caspiche, Cinturón de Maricunga, Norte de Chile. *Geología Económica y Boletín de la Sociedad de Geólogos Económicos*. <https://doi.org/10.2113/econgeo.108.4.585>

Palacios, Carlos y Herail, G. y Townley, Brian y Maksaev, Victor y Sepúlveda, Fabián y de Parseval, Philippe y RIVAS, PABLO y LAHSEN, ALFREDO y Parada, Miguel A. (2001). Composición del oro en el yacimiento tipo pórfido rico en oro Cerro Casale, cinturón de Maricunga, norte de Chile. *Minerólogo canadiense - CAN MINERALOG*. 39. 907- 915. 10.2113/gscanmina.39.3.907.

Henderson, R. y Eng, P. (2010). Informe Técnico del Proyecto Cerro Casale Norte de Chile NI 43-101 Preparado para: Kinross Gold Corporation. https://minedocs.com/12/Cerro%20Casale_02182010_FS.pdf

Principales Minas y Proyectos | Proyecto Norte Abierto (Cerro Casale). <https://miningdataonline.com/property/3063/Norte-Abierto-Cerro-Casale-Project.aspx>

SOLICITAR UNA
COTIZACIÓN



PHOTOSAT

PhotoSat is a trusted partner supporting safe and responsible mining projects worldwide. With over 200 years of combined engineering, geology, and geophysics expertise, PhotoSat offers innovative solutions that span exploration to closure. PhotoSat is the leading expert in satellite solutions produced using proprietary software and deep-learning models designed and tested for optical satellite data.

Better Data. Better Decisions.

PhotoSat Information Ltd.
#580—1188 West Georgia Street
Vancouver BC Canada V6A4E2
1-604-681-9770

[PhotoSat.ca](https://photosat.ca)

R-HET CS 04032026