



UF LAVADERO DE ORO DANYKA 7
INFORME TÉCNICO
EQUIPO DE GEOINFORMACIÓN
DIVISIÓN DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN AMBIENTAL

Javiera Poblete Olivares

01 de abril de 2022

1 RESUMEN

A solicitud de la oficina regional de Magallanes se realizó un análisis de imágenes satelitales con el objetivo de evaluar una posible elusión al SEIA en la UF "Lavadero de oro Danyka 7". Para esto, se trabajó con imágenes satelitales de la serie Sentinel, satelitales Sentinel 1 y 2, a través de la plataforma Google Earth Engine. A partir de las imágenes Sentinel 2 se revisó el período de diciembre 2020 a la fecha, para así identificar el comienzo de la exploración en la zona. Se revisaron todas las imágenes disponibles dentro del período con un porcentaje de cobertura de nubes menor a 40%. Luego, se seleccionó una imagen anterior y posterior al período, para obtener el área intervenida. Sobre la imagen anterior a la intervención se realizó una clasificación supervisada considerando 30 muestras. Como entradas para la clasificación se utilizaron índices espectrales, bandas espectrales y las bandas de retrodispersión del satélite Sentinel 1. Los resultados dieron cuenta que la intervención ocurrió entre febrero y marzo de 2021, afectando una superficie de 11.1 ha, correspondientes a 8.9 ha de vegetación y 2.2 de humedales (vegas o turberas). Estos resultados deben ser considerados de forma referencial y corresponden a una aproximación de lo ocurrido en la zona.

2 ANTECEDENTES

Es solicitado por la oficina regional de Magallanes la realización de un análisis de imágenes satelitales sobre la UF "Lavadero de Oro Danyka 7", ubicada en la comuna de Porvenir, Tierra del Fuego. Debido a la intervención de cobertura de vegetación producto de una explotación minera, con el objetivo de evaluar si se produce una elusión al SEIA, debido a configurarse los literales a.2.3 y a.2.4 del artículo 3 del Reglamento del SEIA (D.S. MMA N°40/2012).

Como contexto, cabe indicar que el titular se encuentra realizando una faena de explotación minera de oro mediante la extracción mecánica (a cielo abierto) de depósitos fluviales, para lo cual efectúa inicialmente el retiro de la cubierta vegetal del suelo y posterior remoción de un estrato de greda gris de aproximadamente 1 metro de espesor, todo lo anterior, previo a alcanzar el estrato del manto aurífero de gravas y arenas cuyo espesor varía entre los 2.5 y 3.0 metros. A su vez, el material contenido en el estrato de interés es posteriormente conducido mediante excavadora a una planta de lavado, donde se efectúa finalmente su selección por granulometría. Por otra parte, el agua utilizada en el proceso de lavado se deposita en piscinas de sedimentación para la eliminación de sólidos y posterior restitución a curso de agua.

En la Tabla 1 se presentan las coordenadas de los puntos de los canales de drenaje y en la Tabla 2 los de las piscinas de decantación, estas son presentadas en el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) WGS 84, UTM Huso 19 S. También, se incluyen los puntos de muestreo registrados por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG, Tabla 3).

Tabla 1. Coordenadas canales de drenaje.

Canal	Nombre	Norte	Este
C1	Canal 1 - Inicio	4091707	428759
C2	Canal 2 - Inicio	4091649	428741
C3	Canal 3 - Inicio	4091618	428746
C4	Canal 4 - Inicio	4091574	428741
C5	Canal 5 - Inicio	4091733	428798
C1	Canal 1 - Termino	4091691	428702
C2	Canal 2 - Termino	4091614	428650
C3	Canal 3 - Termino	4091563	428664
C4	Canal 4 - Termino	4091492	428665
C5	Canal 5 - Termino	4091514	428759

Tabla 2. Piscinas de decantación.

Nombre	Norte	Este
Piscina 1- V1	4090900	428852
Piscina 1- V2	4090848	428843
Piscina 1-V3	4090838	428861
Piscina 1-V4	4090892	428884
Piscina 2- V1	4090889	428895
Piscina 2- V2	4090838	428888
Piscina 2-V3	4090834	428909
Piscina 2-V4	4090880	428914
Piscina 3- V1	4090881	428939
Piscina 3- V2	4090821	428935
Piscina 3- V3	4090826	428947
Piscina 3- V4	4090873	428966

Tabla 3. Puntos de terrenos registrados por el SAG.

Imagen	Este	Norte	Observación
Imagen 1	428655	4092132	<i>Juncus, Carex, Musgo</i>
Imagen 2	428654	4092131	<i>Sphagnum magallanicum</i>
Imagen 3	428665	4092163	<i>Carex, Sphagnum magallanicum, Juncus</i>
Imagen 4	428672	4092223	<i>Juncus</i>
Imagen 5	428672	4092223	<i>Sphagnum magallanicum</i>
Imagen 6	428685	4092229	<i>Juncus</i>
Imagen 7	428683	4092030	<i>Juncus</i>
Imagen 8	428683	4092030	<i>Gunnera</i>
Imagen 9	428691	4091936	<i>Juncus</i>
Imagen 10	428691	4091936	<i>Gunnera</i>
Imagen 11	428672	4091847	-
Imagen 12	428684	4091465	<i>Juncus</i>
Imagen 13	428787	4090943	<i>Juncus</i>
Imagen 14	428848	4090891	<i>Juncus, Agua</i>
Imagen 15	428895	4090879	<i>Juncus, Agua</i>
Imagen 16	428986	4090839	<i>Agua</i>
Imagen 17	429005	4090838	<i>Agua</i>
Imagen 18	429005	4090838	<i>Agua</i>

3 OBJETIVO

Analizar la variación en la extensión de los sectores de vega y/o humedales en el área ya intervenida por la explotación minera, así como también de los sectores inmediatamente adyacentes a la misma, a causa de actividades de secado/drenado, específicamente entre los meses de diciembre de 2020 y marzo de 2022.

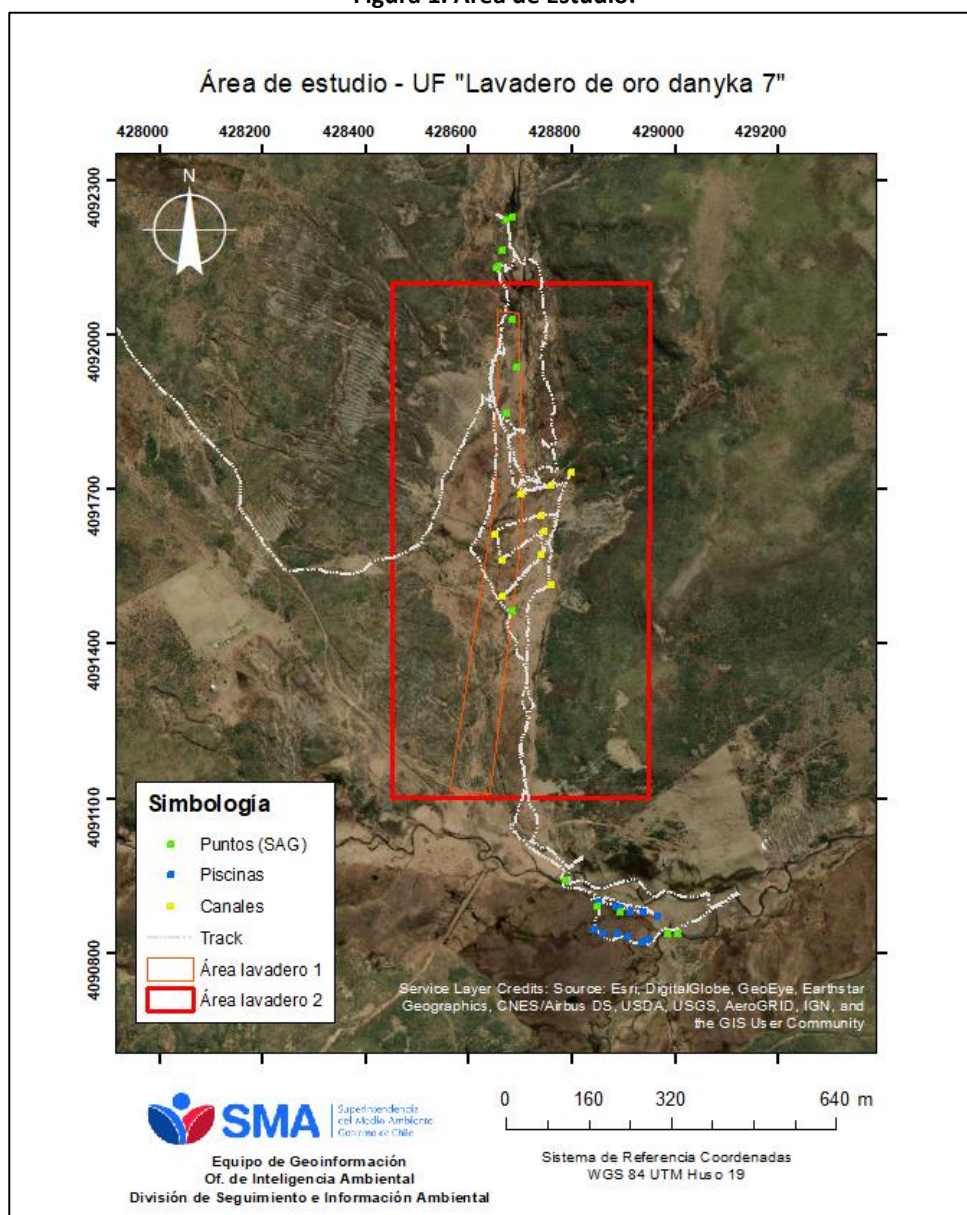
4 METODOLOGÍA

4.1 Área de Estudio

El área de estudio (Figura 1) corresponde a la UF "Lavadero de oro Danyka 7" ubicada en la comuna de Porvenir. En la Figura 1 se puede observar el área de extensión de la UF, los puntos de los canales

de drenaje, las piscinas de decantación, el track realizado en terreno y los puntos registrados por el SAG.

Figura 1. Área de Estudio.



4.2 Insumo satelital

Se trabajó con imágenes Sentinel 2 Multispectral Instrument (MSI) en Nivel 2 (L2A) correspondientes a imágenes satelitales multispectrales, las cuales se encuentran corregidas a través de sen2cor. Estas imágenes poseen una resolución espacial de 10 a 20 metros, en las bandas de aerosol, vapor de agua y cirrus llega a ser de 60 metros. Además, poseen una resolución temporal de 5 días, combinando Sentinel 2A y Sentinel 2B, es decir, revisitan el mismo lugar cada 5 días. Sobre todas las imágenes se aplicó una máscara de nubes. Cabe señalar que, el 25 de enero de 2022 la Agencia Espacial Europea (ESA) realizó una actualización en la línea de procesamiento de las imágenes Sentinel 2¹, por lo que existe una diferencia entre las imágenes previas y posteriores a estas. Las imágenes utilizadas corresponden a la colección 'S2_SR_HARMONIZED'², disponibles en *Google Earth Engine* (GEE), que procesa las imágenes nuevas para que se encuentren en el mismo rango que las imágenes anteriores a este cambio, para que de esta forma las imágenes sean equivalentes entre sí y puedan ser utilizadas para los distintos análisis.

¹ Se puede revisar en el siguiente enlace: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/processing-baseline>

² El detalle de la colección se puede revisar en el siguiente enlace:

También, fueron utilizadas imágenes de tipo radar provenientes de las plataformas satelitales Sentinel-1 (A/B), instrumento SAR Banda C ($\lambda \approx 5,24$ cm), Nivel 1 *Ground Range Detected* (GRD) en polarización VV y VH con una resolución espacial de 10 metros, calibradas radiométricamente, geocodificadas y remuestreadas, cuyo coeficiente de retrodispersión se expresa en decibeles [dB].

Todas las imágenes fueron obtenidas y trabajadas a través de la plataforma *Google Earth Engine* (GEE).

4.3 Detección de fecha de intervención

Para determinar el comienzo de la intervención en la UF, se hizo una revisión de todas las imágenes Sentinel 2 disponibles para el período de noviembre 2020 a la fecha. Se consideró desde noviembre, para ampliar el número de imágenes disponibles. En primer lugar, se hizo una revisión de todas las imágenes disponibles con un porcentaje de nubes menor al 40%, luego, identificando el período de cambio se hizo una revisión de todas las imágenes del período. Es necesario señalar que, en la zona existe un número escaso de imágenes libres de nubes, en período invernal ocurre la presencia de nieve, esto reduce la opción de visibilizar cambios en la superficie.

4.4 Detección de cambios en cobertura

Para analizar los cambios ocurridos en el área, producto de la exploración minera en la UF se siguió lo propuesto por Amoakoh et al. (2021)³, quienes evalúan diferentes fuentes de información (imágenes, índices, etc) para la clasificación de superficies a través de *Google Earth Engine*.

El objeto de estudio, en este caso, corresponde principalmente a Turberas. Las turberas son humedales, presentan un nivel freático cercano al suelo y acumulan materia orgánica parcialmente descompuesta, llamada turba (Domínguez y Vega-Valdés (Eds.), 2015)⁴. Se pueden clasificar en tres tipos: las esfagnosas, gramínoideas y pulvinadas (Domínguez y Vega-Valdés (Eds.), 2015)⁵. A simple vista, a partir de imágenes satelitales, estas se podrían diferenciar porque poseen una coloración distinta a la vegetación común, como matorrales, praderas o bosques, sin embargo, es difícil su identificación certera, para esto se requiere validación en terreno.

Para detectar los cambios en la superficie se escogieron dos imágenes, una previa a la intervención y una posterior a esta. Las imágenes escogidas son ambas de verano, para así evitar diferencias en la reflectividad de la superficie y también con el objeto de trabajar con imágenes con el menor porcentaje de cobertura de nubes. Las imágenes seleccionadas para la detección de cambios corresponden a las tomadas en las fechas de: 10 de febrero de 2021 y 10 de marzo de 2022 (ambas tomadas sobre la misma posición, MGRS_TILE = 19FDA).

En primer lugar, para detectar los cambios en superficie generados por la exploración minera, se obtuvo el índice espectral de vegetación de diferencia normalizada, NDVI por sus siglas en inglés (Rouse et al. 1974⁶; Ecuación 1). Los valores de este índice oscilan entre -1 y 1, donde los valores positivos y superiores a 0.2, generalmente, corresponden a superficies cubiertas por vegetación. Este fue escogido, ya que permite identificar zonas con vegetación de otro tipo de coberturas como, por ejemplo, suelo desnudo.

³ Amoakoh, A. O., Aplin, P., Awuah, K. T., Delgado-Fernandez, I., Moses, C., Alonso, C. P., ... & Mensah, J. C. (2021). Testing the contribution of multi-source remote sensing features for random forest classification of the greater amanzule tropical peatland. *Sensors*, 21(10), 3399.

⁴ Domínguez, E. y D. Vega-Valdés (eds.) 2015. Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes. Colección de libros INIA N° 33. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Punta Arenas, Chile. 334 pp.

⁵ Domínguez, E. y D. Vega-Valdés (eds.) 2015. Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes. Colección de libros INIA N° 33. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Punta Arenas, Chile. 334 pp.

⁶ Rouse, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W. & Sehell, J. A., (1974): Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation. Final Rep. RSC 1978-4, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Ecuación 1.

Donde,

R : rango del rojo (650 - 680 nm), banda 4 del satélite Sentinel 2.

NIR: rango del infrarrojo cercano (780-900 nm), banda 8 del satélite Sentinel 2.

Una vez obtenidos los NDVI para la imagen previa y la imagen posterior, se procedió a calcular el área de intervención a través de la diferencia entre estos. Se estimó la diferencia entre ambas imágenes, de la forma: T1 – T0, siendo T1 la imagen posterior a la intervención, según los últimos cambios observados, y T0 la imagen previa a la intervención. La imagen de diferencia resultante fue reclasificada, considerando todos los valores negativos menores a -0.2 como 1 y el resto como cero, con el objetivo de cuantificar los cambios o pérdidas de vegetación.

Para diferenciar el área de humedal del área de vegetación afectado por la exploración, se optó por realizar una clasificación supervisada de forma exploratoria. Las superficies, objetos, coberturas poseen diferentes firmas espectrales, lo que permite hacer una distinción entre ellas, la clasificación digital permite, a través de diferentes técnicas, distinguir entre las diferentes coberturas reunidas en una imagen o área. En específico, la clasificación supervisada corresponde a aquella en donde se tiene un conocimiento previo de la zona, dada por experiencia en la zona o por muestras de terreno (Chuvieco, 1991)⁷. Las muestras corresponden a los valores de entrenamiento de la clasificación. En la clasificación se define el número de clases a identificar y así, los algoritmos detectan el comportamiento (firma) de cada una de estas para distinguirlas entre sí. Así como existen las muestras de entrenamiento, también existen las de validación que permiten analizar el rendimiento del algoritmo.

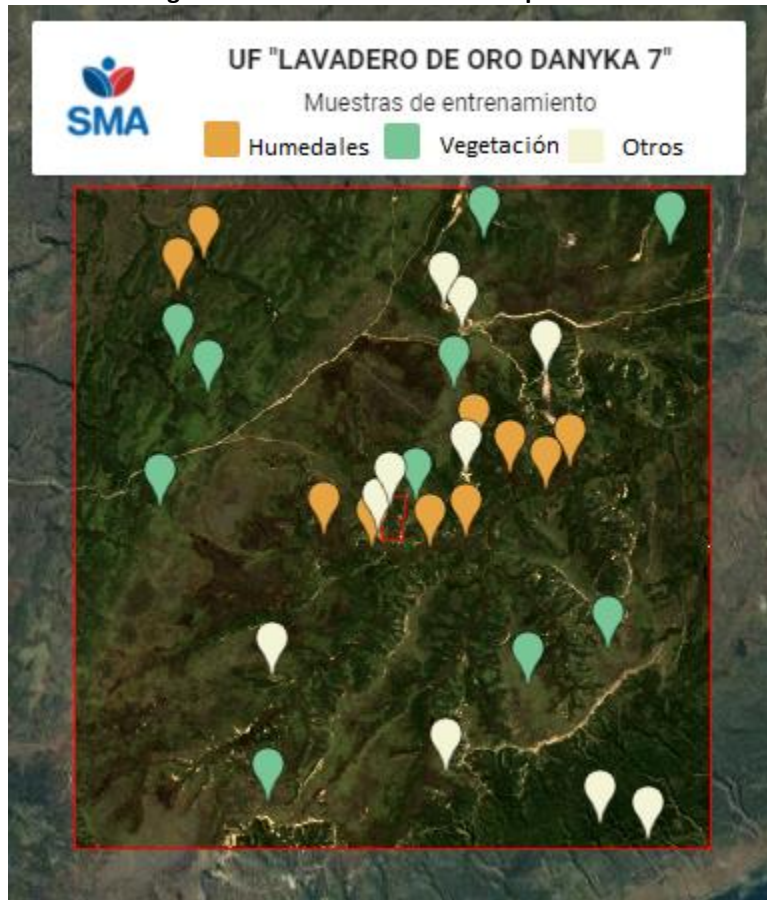
En primer lugar, se definieron el número de clases a identificar, para esto se utilizaron los documentos realizados por CONAF, Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de los recursos vegetacionales nativos de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena⁸ y catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (actualizaciones al año 2020)⁹. Ya que, el objeto principal de análisis corresponde a los humedales de tipo turbera, se escogieron tres clases: humedales (clase: 1), vegetación (clase: 2, siendo principalmente matorrales y praderas, según los catastros), otros (clase: 3, en otros se incluye zonas de cultivos también). Se entrenó el algoritmo con 30 muestras en total, 10 por cada clase, la distribución de estas se muestra en la Figura 2. La clasificación se hizo únicamente sobre la imagen previa a la intervención. Es necesario señalar que, la clasificación se hizo para un área buffer sobre el área de la UF Lavadero de Oro Danyka 7, el área buffer escogido fue de 7000 metros (7 km).

⁷ Chuvieco, E. (1991). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 52(203), 371.

⁸ CONAF, Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales, Santiago, Chile, 2020. Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de los recursos vegetacionales nativos de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Resumen Ejecutivo 52 p. Santiago, Chile.

⁹ CONAF, 2021. Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile al año 2020. Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales. 76 p.

Figura 2. Muestras clasificación supervisada.



Luego, se procedió a generar los insumos con los cuales se puede generar la clasificación. Siguiendo lo propuesto por Amoakoh et al. (2021)³, se obtuvieron diferentes índices espectrales, seleccionando aquellos que fuesen obtenidos por bandas con resolución espacial de 10 m (Sentinel 2 posee bandas con resolución de 10 y 20 metros) para priorizar la resolución. Los índices obtenidos y sus respectivas ecuaciones se presentan a continuación:

- **Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2 (MSAVI2)¹⁰**

$$MSAVI = \frac{(2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - R)})}{2}$$

Ecuación 2.

- **Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)¹¹**

$$ARVI = \frac{NIR - (2 * R - A)}{NIR + (2 * R - A)}$$

Ecuación 3.

- **Normalized Difference Water Index (NDWI)¹²**

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR}$$

Ecuación 4.

¹⁰ Qi, J; A. Chehbouni; A. R. Huete; Y. H. Kerr and S. Sorooshian. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, 48(2): 119-126.

¹¹ Para revisar más información: Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. (1995). A review of vegetation indices. Remote sensing reviews, 13(1-2), 95-120.

¹² McFeeters, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International journal of remote sensing, 17(7), 1425-1432.

Donde,

A : rango del azul (450 – 520 nm), banda 2 del satélite Sentinel 2.

G : rango del verde (540 - 570 nm), banda 3 del satélite Sentinel 2.

Además de los índices señalados, se utilizó el índice espectral de vegetación NDVI (Ecuación 1). También, se utilizaron las bandas de retrodispersión del satélite Sentinel 1. Se utilizó la mediana de las imágenes de febrero 2021 (período previo a intervención). Para este período, solo se encontraron dos imágenes, ambas descendientes y de estas, se trabajó con las bandas VV y VH. Así como las bandas del sensor Sentinel 1 fueron incluidas, también se incorporaron las bandas del visible y del infrarrojo cercano, todas ellas con una resolución de 10 metros, teniendo así, 10 entradas para el clasificador¹³.

Teniendo los inputs para la clasificación, se procedió a entrenar el clasificador. Este correspondió a un clasificador Random Forest que utiliza una colección de clasificadores de árboles de decisión (Breiman, 2001)¹⁴. El número de árboles escogidos (*ntree*), no debe ser muy pequeño, para este caso se escogieron 100 árboles de clasificación (al igual que el estudio de Amoakoh et al. 2021). Los otros parámetros se dejaron por default. El clasificador fue utilizado en GEE utilizando la función *ee.Classifier.smileRandomForest*.

Para este caso, se realizó una clasificación supervisada exploratoria, sin muestras de validación, tampoco se evaluó la separabilidad de las clases, ni se utilizó un algoritmo de selección de atributos (*feature selection*), por lo que los resultados deben ser considerados de forma referencial y como una primera exploración de lo ocurrido en la zona. Si bien, no se realizó una validación, se utilizaron los puntos de terreno del SAG para evaluar la distinción de coberturas del algoritmo.

No se seleccionó una clase de cuerpos de agua, porque a la resolución con la que se trabajó, no se distinguió ningún cuerpo de agua.

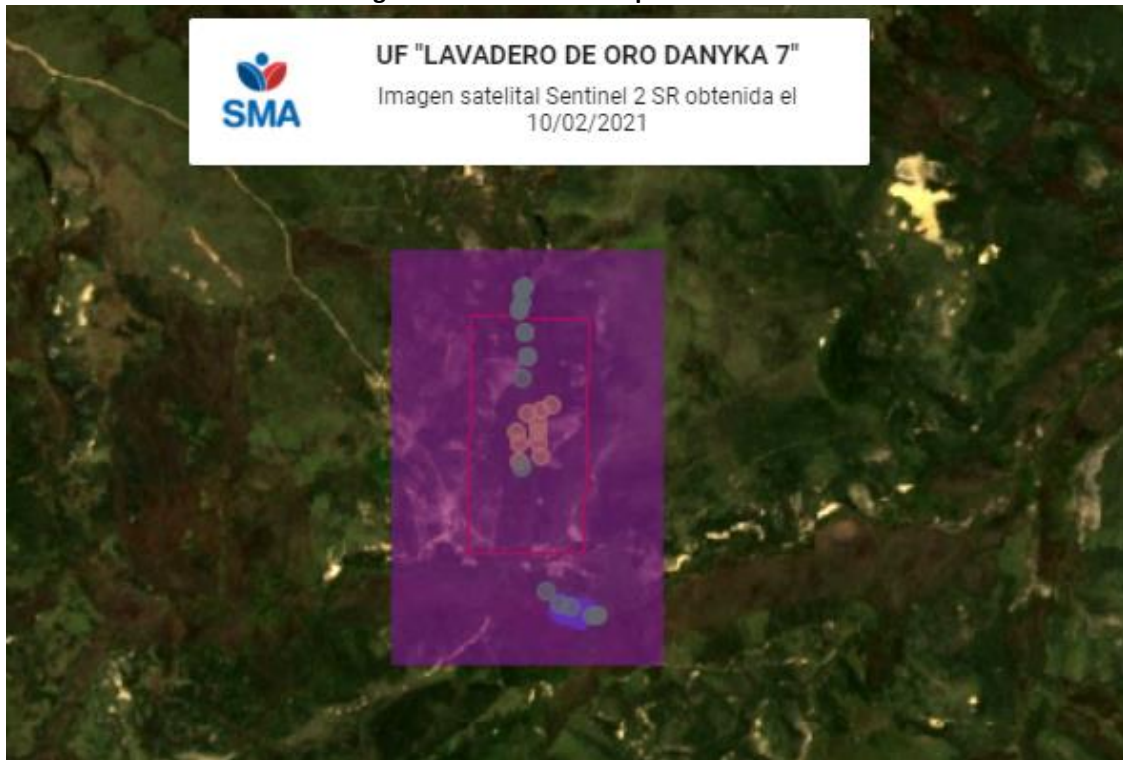
Cabe señalar que, también se probó un método de clasificación no supervisada, *cluster*, considerando tres clases, sin embargo, este presentó un desempeño menor en cuanto a la distinción de superficies, por lo que se optó por trabajar con la clasificación supervisada sin validación.

Entonces, por último, teniendo la clasificación supervisada, se pudo identificar coberturas y junto a la superficie de cambio, obtenida a través la diferencia entre el índice NDVI, se pudo obtener la superficie afectada por cobertura debido a la exploración minera. Para cuantificar el área de cambio se utilizó el área entre los canales, piscina, UF y puntos muestreados por el SAG, el área se muestra en morado en la Figura 3. La imagen de base que se presenta en la Figura 3, corresponde a la imagen previa a la intervención.

¹³ El número de variables utilizadas para clasificadores se puede analizar y probar previamente a través de algoritmos de selección de atributos, lo que no se realizó para este análisis.

¹⁴ Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45: 5–32.

Figura 3. Área de análisis para cambio.



5 RESULTADOS

5.1 Detección de fecha de intervención

A partir de la revisión de imágenes, se pudo dar cuenta que la intervención comienza entre febrero y marzo de 2021. De marzo a septiembre, dentro de la colección de imágenes con un porcentaje de cobertura de nubes menor al 40%, no se cuenta con imágenes libres de nubes, sombras, o nieve que puedan ser utilizadas para visualizar el avance de las obras. De todas formas, se adjuntan cuatro imágenes que dan cuenta del comportamiento reciente de la exploración. La imagen del 2 de marzo de 2021 (Figura 5) muestra el inicio de las obras en la zona central del área de la UF.

Figura 4. Imagen previa a la intervención.

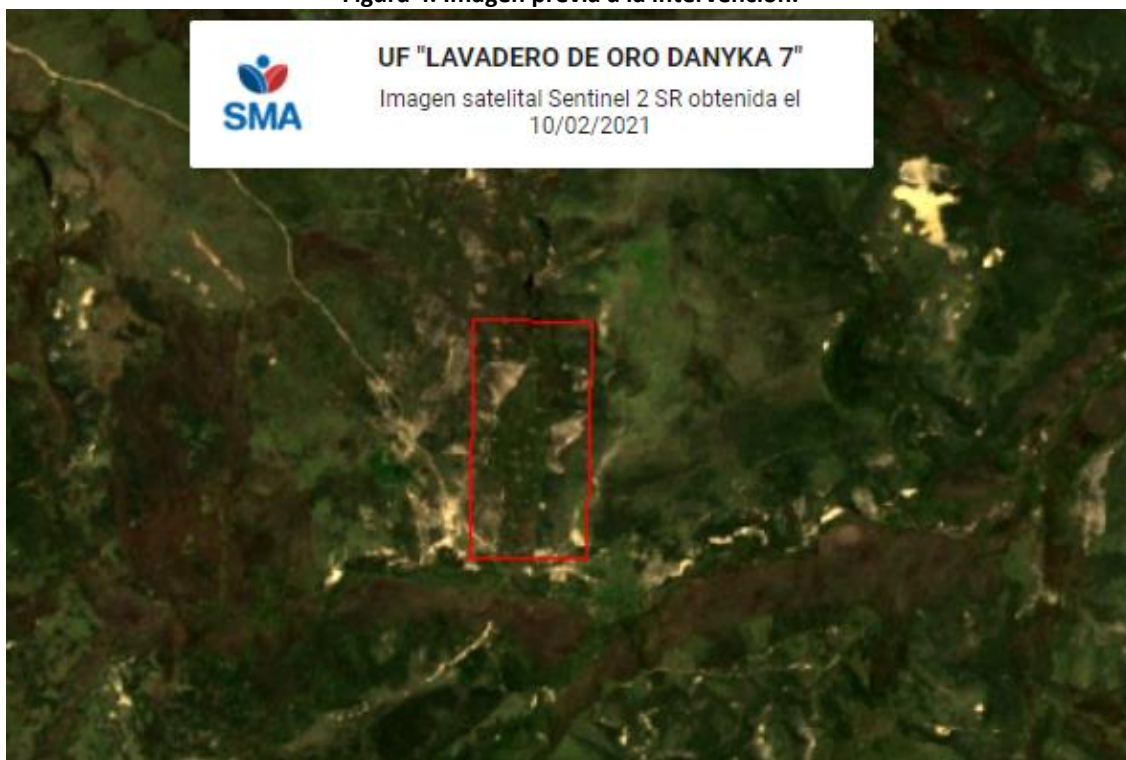


Figura 5. Imagen posterior a la intervención (1).

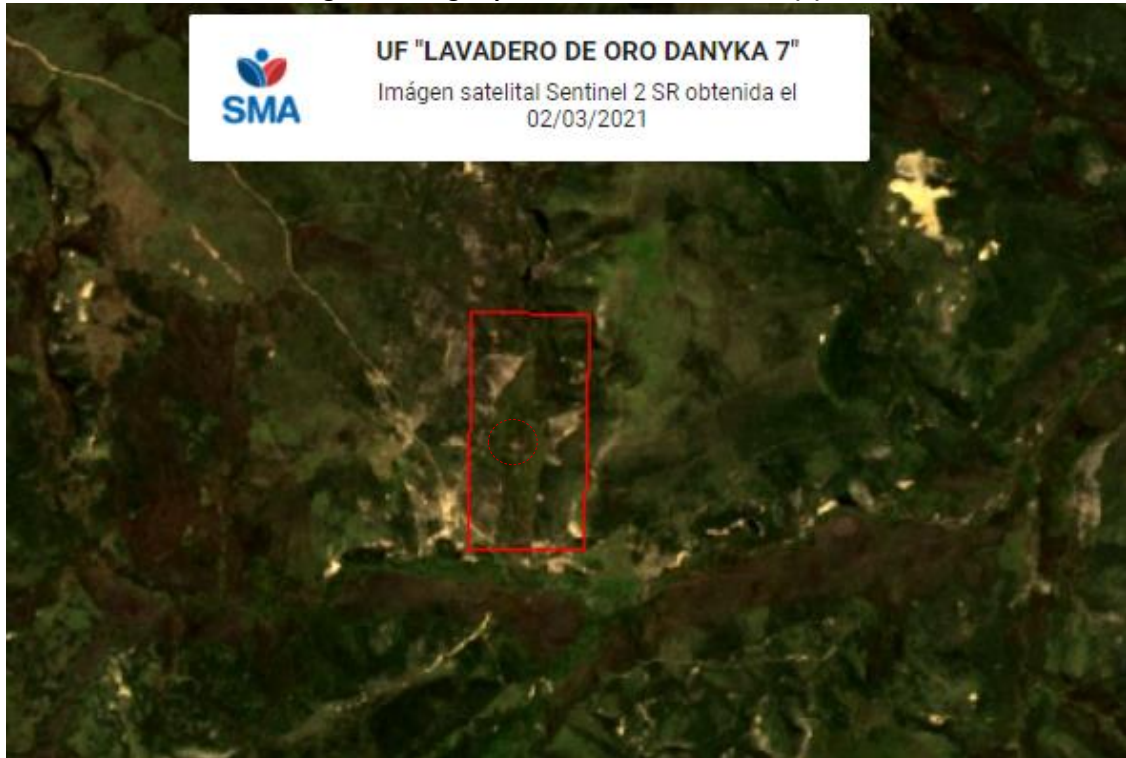


Figura 6. Imagen posterior a la intervención (2).



Figura 7. Imagen posterior a la intervención (3).

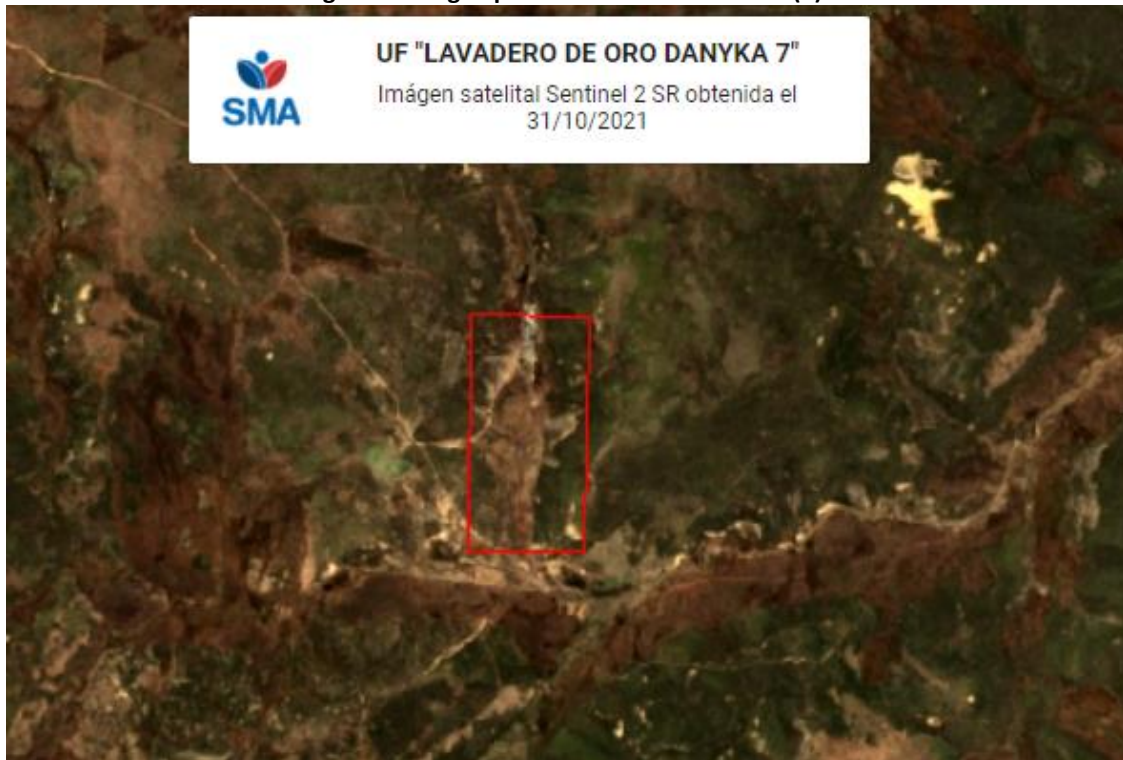


Figura 8. Imagen posterior a la intervención (4).



5.2 Detección de cambios en cobertura

Sobre las imágenes entre el período de intervención (Figuras 4 y 8), se calculó el índice espectral de vegetación NDVI, dando como resultado lo expuesto en las Figuras 9 y 10. Los valores positivos, mayores a 0.2^{15} vendrían a representar la vegetación y valores negativos a otro tipo de cobertura. Luego, se procedió a calcular la diferencia de NDVI (Figura 11), donde los valores negativos

¹⁵ El umbral sobre 0.2 del índice NDVI es el más utilizado en la literatura para distinguir lo que es vegetación. Sin embargo, este depende de la zona y de la vegetación estudiada.

representan cambios en la cobertura vegetal, representados en un color oscuro. Se calculó la superficie intervenida en el área (área de análisis, Figura 3), dando como resultado 11.1 ha (Figura 12, en morado).

Figura 9. NDVI – Imagen previa a intervención.

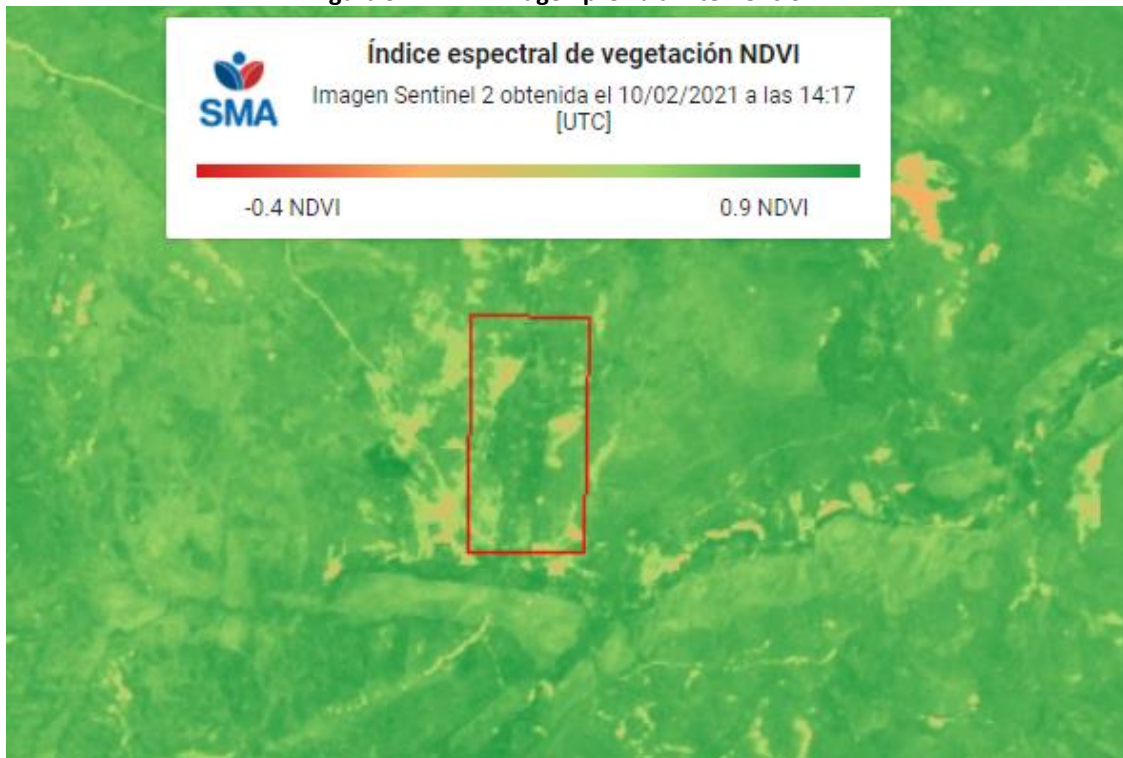


Figura 10. NDVI – Imagen posterior a intervención.

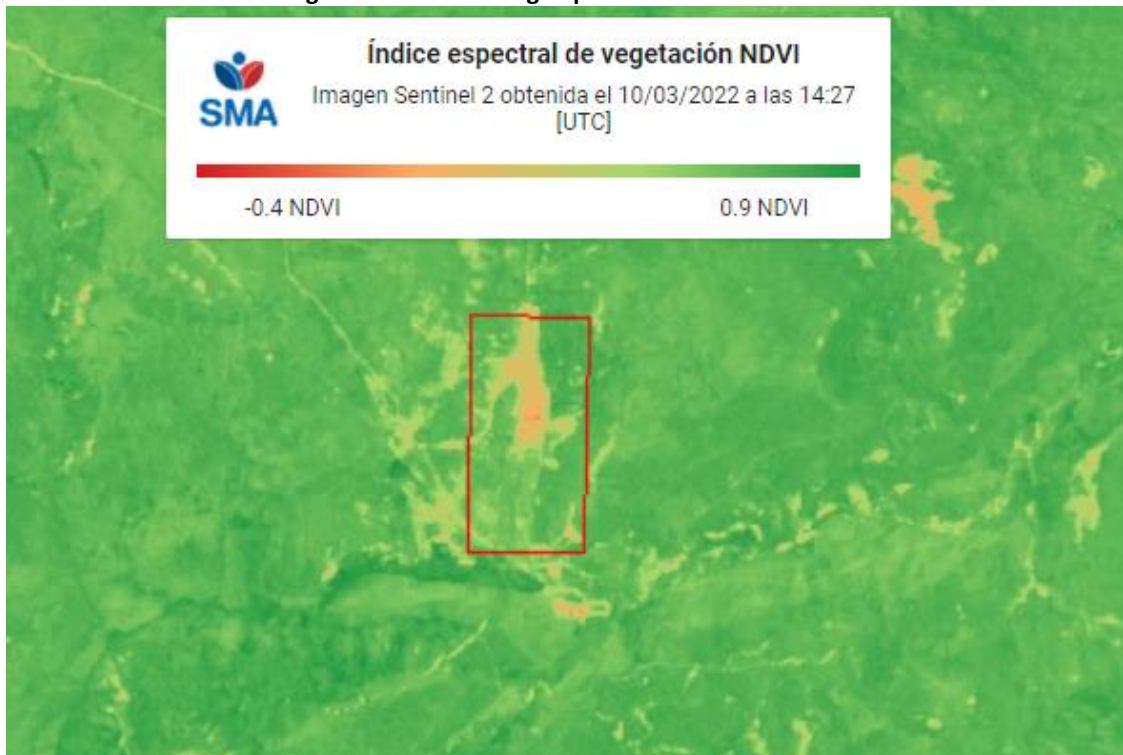


Figura 11. Diferencia de NDVI.

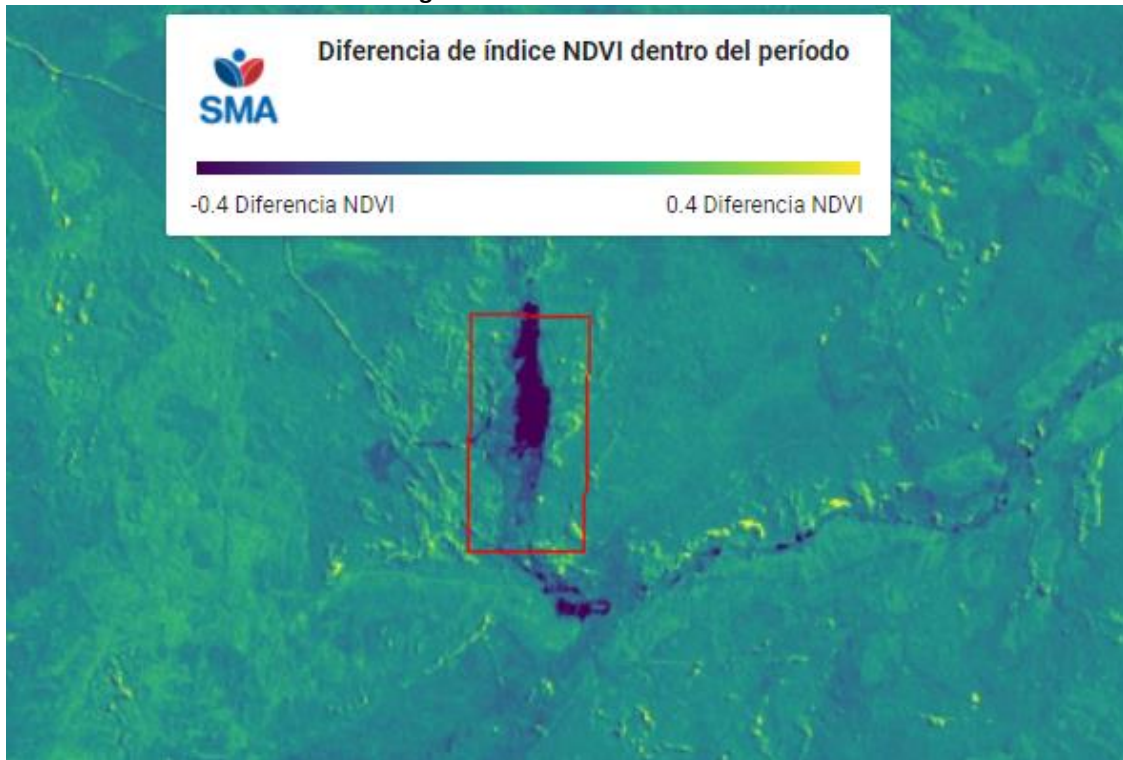
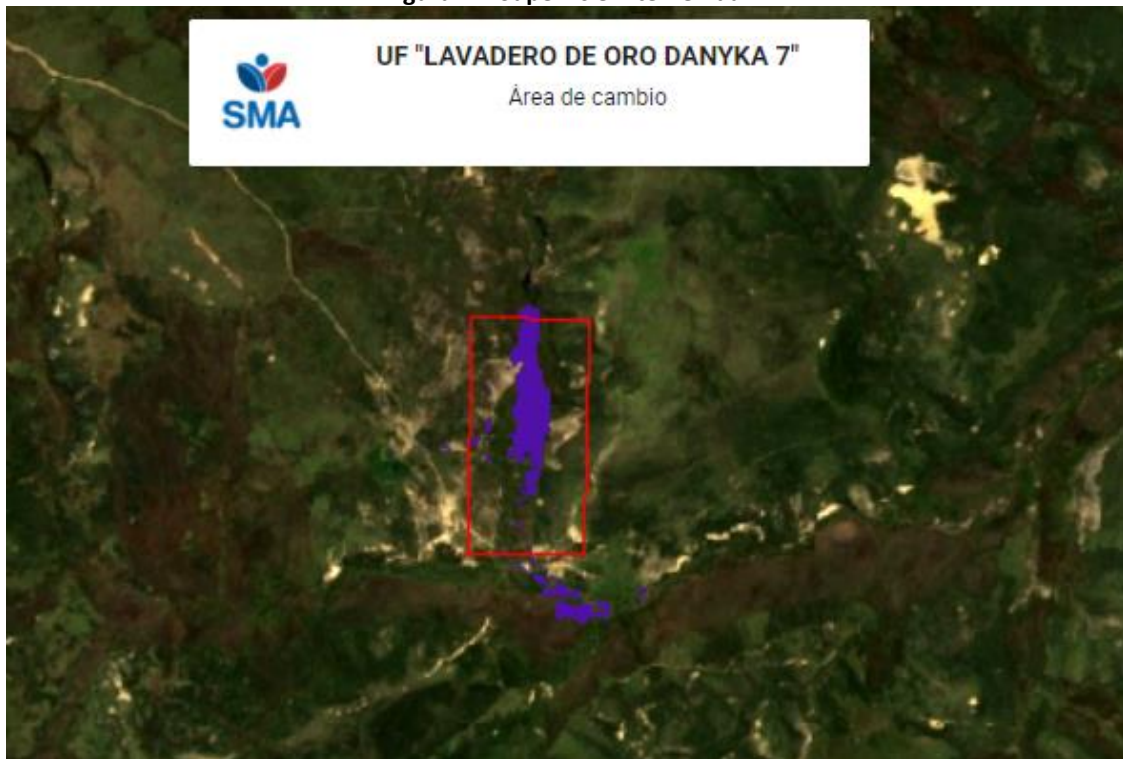
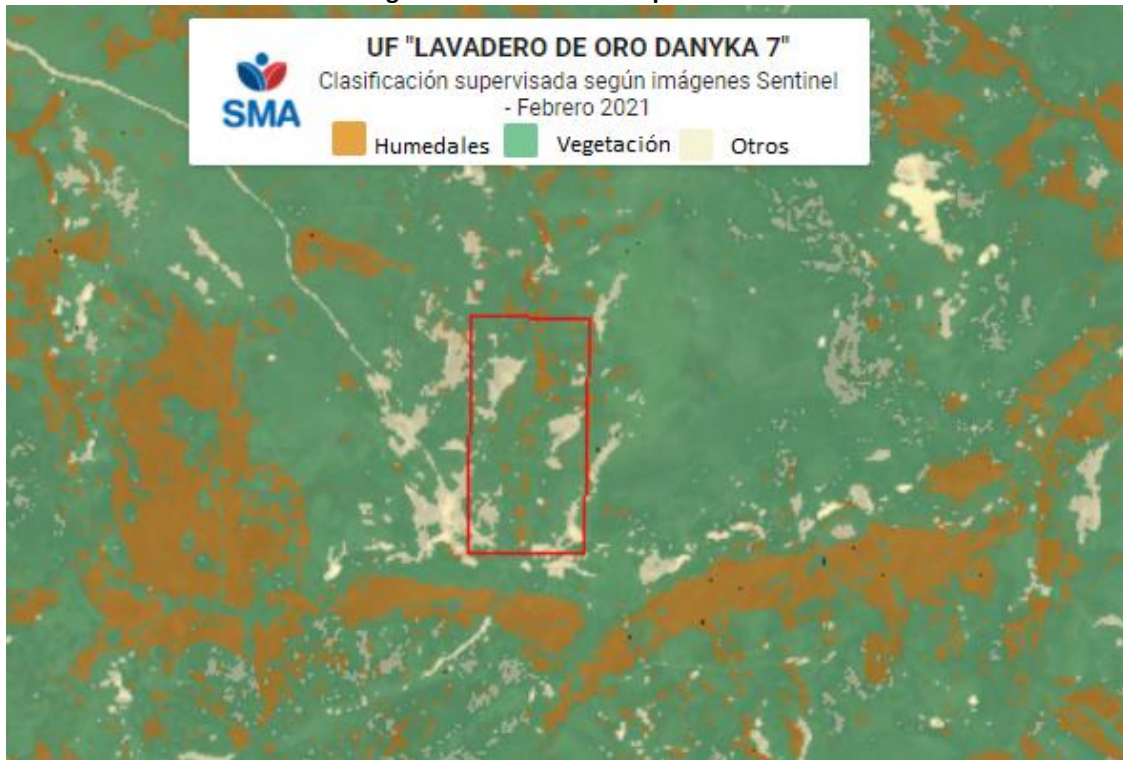


Figura 12. Superficie intervenida.



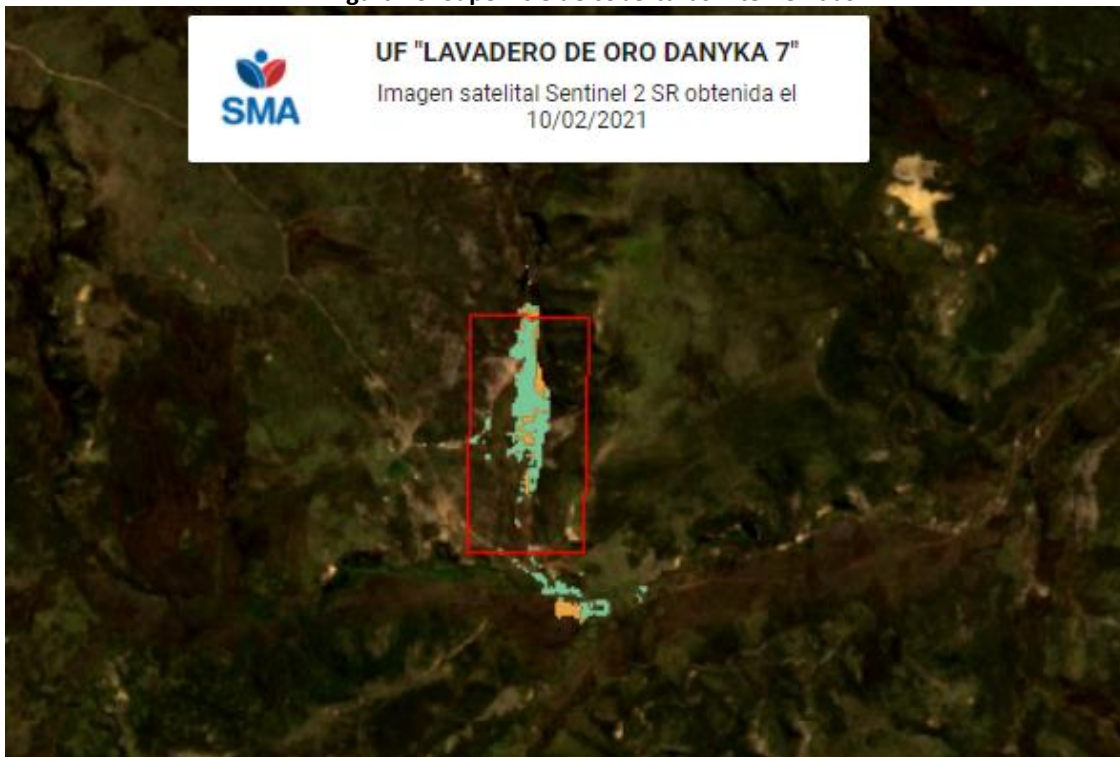
A continuación, en la Figura 13 se presenta el resultado de la clasificación supervisada obtenida para el área de estudio. En la Figura lo clasificado como humedal corresponde a humedales de turberas o vegas, dependerá de las especies que compongan las zonas y según como se clasifiquen las turberas en la zona.

Figura 13. Clasificación Supervisada.



Finalmente, teniendo la clasificación y el área intervenida, se procedió a calcular el área afectada por cobertura, resultando en 8.9 ha de vegetación afectada y 2.2 ha de humedales (Figura 14, la imagen de fondo corresponde a la imagen previa a la intervención).

Figura 13. Superficie de coberturas intervenidas.



6 CONCLUSIÓN

A través del análisis realizado fue posible determinar que la exploración minera en la UF “Lavadero de oro Danyka 7” comenzó entre febrero y marzo de 2021, donde a la fecha van 11.1 ha intervenidas, correspondientes a 8.9 ha de vegetación y 2.2 de humedales (vegas o turberas). Cabe señalar que, las turberas son ecosistemas difíciles de distinguir y que la clasificación supervisada realizada se hizo de forma exploratoria, por lo que los resultados deben considerarse de forma referencial.