



**ANÁLISIS SATELITAL MULTITEMPORAL DE ESPEJO DE AGUAS Y
OBRAS DE IMPERMEABILIZACIÓN EN CUBETA PIT FASE 8: "MINERA
METÁLICA MANTOS BLANCOS (TITULAR MANTOS COOPER) (UF N°905)**

REPORTE TÉCNICO
EQUIPO DE GEOINFORMACIÓN
OFICINA DE INTELIGENCIA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN AMBIENTAL

Ariel Russell

10 de marzo de 2022

1 RESUMEN EJECUTIVO

Se solicitó por parte del Departamento de Sanción y Cumplimiento la realización de un análisis de identificación de la magnitud en superficie de espejo de agua actividad sobre la cubeta denominada Pit Fase 8, en la Unidad Fiscalizable MINERA METÁLICA MANTOS BLANCOS (TITULAR MANTOS COOPER) (UF N°905), ubicada en la coordenada UTM 388.531 m E y 7.408.154 m N Datum WGS 1984 huso 19 Sur. Para esto, se realizó un análisis de presencia de humedad superficial con imágenes multiespectrales del Sensor MSI de los satélites Sentinel 2A y 2B, desde el 20 de octubre de 2016 hasta el 15 de febrero de 2022 (173 imágenes). Adicionalmente, se solicitó estimar la superficie del fondo de cubeta en que se evidencia la presencia de procesos de tratamiento del suelo para la impermeabilización del tranque, análisis que fue realizado mediante fotointerpretación de imágenes Sentinel 2A y 2B.

Del análisis de espejos de agua, se puede observar la presencia de humedad desde el 12 de enero de 2017, espejo de agua que fue incrementando su magnitud hasta la imagen del 26 de febrero de 2019, luego existió incertidumbre su desarrollo hasta el mes de septiembre de 2019. Luego, se observa una varianza mayor del tamaño del espejo de agua, explicada por la aparición de una zona seca sobre el área de análisis cuyo nivel de humedad es altamente variable. El tamaño mayor del espejo de aguas se observó el 31 de enero de 2022 con una magnitud de 201,67 hectáreas.

Respecto de la superficie impermeabilizada en el fondo de la cubeta, se identificaron dos imágenes que expresan el proceso de impermeabilización, las que evidencian una superficie de 2,41 ha, pudiendo llegar hasta 2,61 ha.

2 OBJETIVOS

- Analizar, mediante imágenes satelitales, la magnitud en superficie de espejo sobre la cubeta denominada Pit Fase 8.
- Estimar la superficie del fondo de cubeta en que se evidencia la presencia de procesos de tratamiento del suelo para la impermeabilización del tranque.

3 METODOLOGÍA

3.1 Área de Estudio

El área de análisis corresponde a la superficie delimitada por el polígono definido en la Tabla 1, el que fue diseñado en base a la máxima extensión observada de la cubeta Pit Fase 8.

Tabla 1. Vértices del área de análisis (Datum WGS 1984).

	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>
<i>Vértice 1</i>	-70.090005	-23.436299
<i>Vértice 2</i>	-70.089447	-23.435708
<i>Vértice 3</i>	-70.089211	-23.434172
<i>Vértice 4</i>	-70.089061	-23.432952
<i>Vértice 5</i>	-70.089318	-23.431652
<i>Vértice 6</i>	-70.090863	-23.430333
<i>Vértice 7</i>	-70.091464	-23.430294
<i>Vértice 8</i>	-70.092065	-23.429487
<i>Vértice 9</i>	-70.092730	-23.429388
<i>Vértice 10</i>	-70.093417	-23.430904
<i>Vértice 11</i>	-70.093331	-23.433365
<i>Vértice 12</i>	-70.093932	-23.433621
<i>Vértice 13</i>	-70.094962	-23.432971
<i>Vértice 14</i>	-70.095198	-23.433050
<i>Vértice 15</i>	-70.094983	-23.433917
<i>Vértice 16</i>	-70.095305	-23.434330
<i>Vértice 17</i>	-70.093932	-23.435747

3.2 Insumos satelitales utilizados

3.2.1 Magnitud en superficie de espejo de agua

Se utilizaron imágenes satelitales de las misiones Sentinel 2A y Sentinel 2B (Sensor Multiespectral MSI de Nivel 1C) del Programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA), plataformas de ciencia que brindan la mayor resolución espacial (10 a 20 metros según la banda utilizada) y temporal (cada 5 días) disponible en la actualidad.

Al momento del análisis se encuentran disponibles 373 imágenes desde el 20 de octubre de 2015, de las cuales se seleccionaron todas las imágenes desde el 4 de octubre de 2016 en adelante, periodo previo a la aparición del espejo de agua asociado a la piscina de relave. Además, se consideraron únicamente imágenes entre octubre y marzo de cada año, debido que se observó la presencia de sombras geográficas entre los meses de marzo y septiembre, la que impedían el análisis del espejo de agua. Por último, se descartaron aquellas imágenes que contenían nubosidad o aerosoles en el área de análisis. Luego de la aplicación de los filtros antes mencionados, se conservaron 173 imágenes para el análisis, cuyas fechas se detallan en la Tabla 2.

Las imágenes fueron consultadas, procesadas y visualizadas en la plataforma *Google Earth Engine* (GEE)¹ mediante la colección de imágenes COPERNICUS/S2².

Para el cálculo de espejos de agua, se utilizó el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) definido por Xu (2006)³ mediante la siguiente relación:

$$NDWI = \frac{Verde - SWIR}{Verde + SWIR}$$

Ecuación 1. Índice Diferencial de Agua Normalizado.

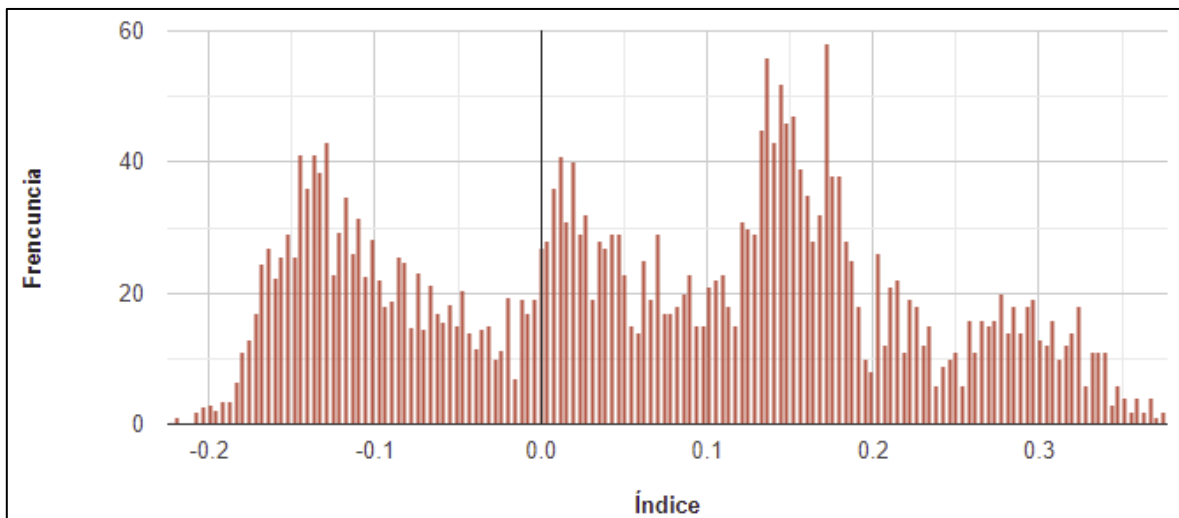
Donde, Verde corresponde a la banda 4 del Sensor MSI y SWIR corresponde a la banda 11 del sensor MSI asociada al infrarrojo de onda corta.

Este índice mide, para cada, píxel la presencia de humedad con un rango de -1 a 1, donde los valores mayores a 0 indican la presencia de humedad o espejos de agua en superficie. Para definir que píxeles corresponden a espejos de agua se requiere de la utilización de un umbral que permita discriminar humedad de suelo respecto a superficies con una cobertura de espejos agua. La selección de umbrales requiere, normalmente, la utilización de mediciones en terreno para la calibración y validación del umbral. Debido a que en este caso no se cuenta con este tipo de información se procedió a seleccionar un umbral identificando la distribución del índice en un histograma sobre el área del Pit, identificando grupos de píxeles que se distribuyen en forma de normal en la última imagen disponible (Gráfico 1).

¹ Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D y Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

² Google Developers. 2022. Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-1C. Disponible en la URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2

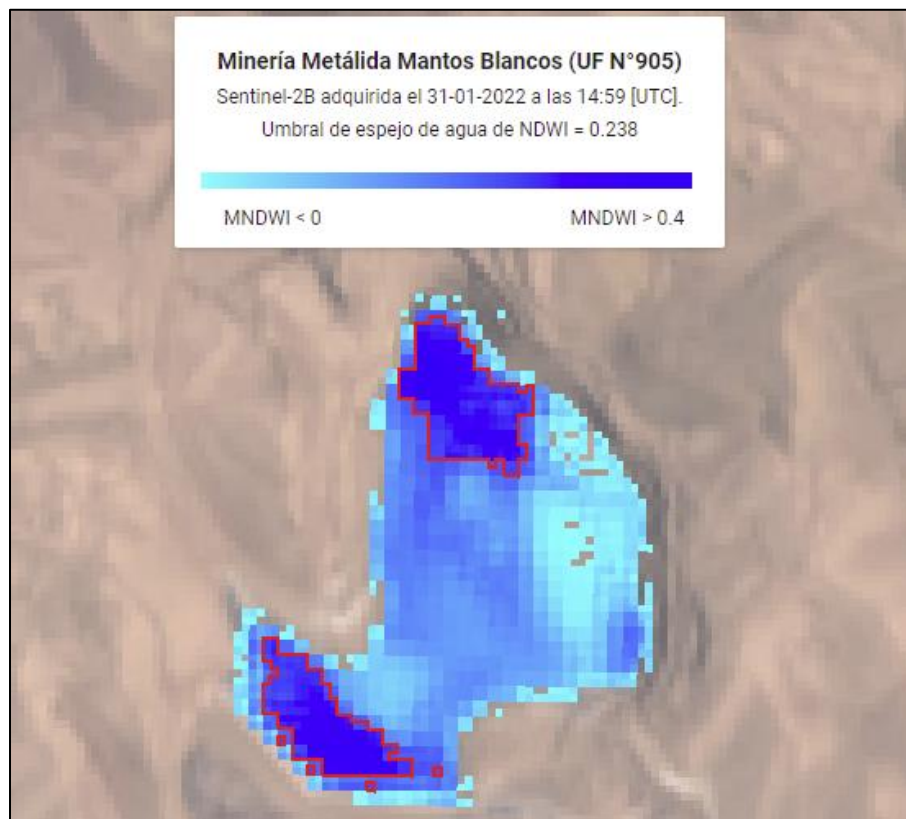
³ Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27:14, 3025-3033, DOI: 10.1080/01431160600589179



En base a la interpretación del histograma, se observa que existen varios patrones de distribución normal, el último de estos (valores mayores del índice) representa el grupo de píxeles de espejo de agua, cuyo umbral se puede definir identificando la intersección con el patrón de distribución normal inmediatamente a la izquierda. Se identificó un valor de umbral de NDWI = 0,238.

En la Figura 1, se presenta la aplicación del umbral sobre la imagen del 31 de enero de 2022.

Figura 1. Aplicación del umbral de selección de espejos de agua.



Finalmente, se realizó el conteo de píxeles que cumplen la condición $NDWI > 0,238$ dentro del área de análisis y se calculó la superficie asociada a esa cantidad de píxeles en hectáreas.

3.2.2 Superficie impermeabilizada en el fondo de la cubeta

Para este análisis se utilizaron imágenes Sentinel 2A y 2B, en los meses previos al inicio de operación del tranque. Se identificaron dos imágenes en que se expresó la presencia de obras de impermeabilización, mientras que la superficie se estimó en base a fotointerpretación.

4 RESULTADOS

4.1 Magnitud en superficie de espejo de agua

A partir del procedimiento señalado, se puede observar la presencia de humedad desde el 12 de enero de 2017 (Figura 2), espejo de agua que fue incrementando su magnitud hasta la imagen del 26 de febrero de 2019, luego existió incertidumbre su desarrollo hasta el mes de septiembre de 2019. Luego, se observa una varianza mayor del tamaño del espejo de agua, explicada por la aparición de una zona seca sobre el área de análisis cuyo nivel de humedad es altamente variable (Figura 3). El tamaño mayor del espejo de aguas se observó el 28 de marzo de 2019 con 102,166 ha y el 31 de enero de 2022 se observó la mayor superficie de la piscina con una magnitud de 201,67 hectáreas (Figura 4).

En el Gráfico 2 se presenta la evolución del uso de las piscinas en el tiempo y en la Tabla 2 se presenta la fecha de cada imagen analizada y el valor en hectáreas de la magnitud del espejo de agua detectado.

Figura 2. Aparición de espejo de agua.



Figura 3. Aparición de zonas secas dentro del tranque.



Figura 4. Máxima expresión observada de espejo de agua.



Gráfico 2. Magnitud de superficie de aguas en zona Pit Fase 8.

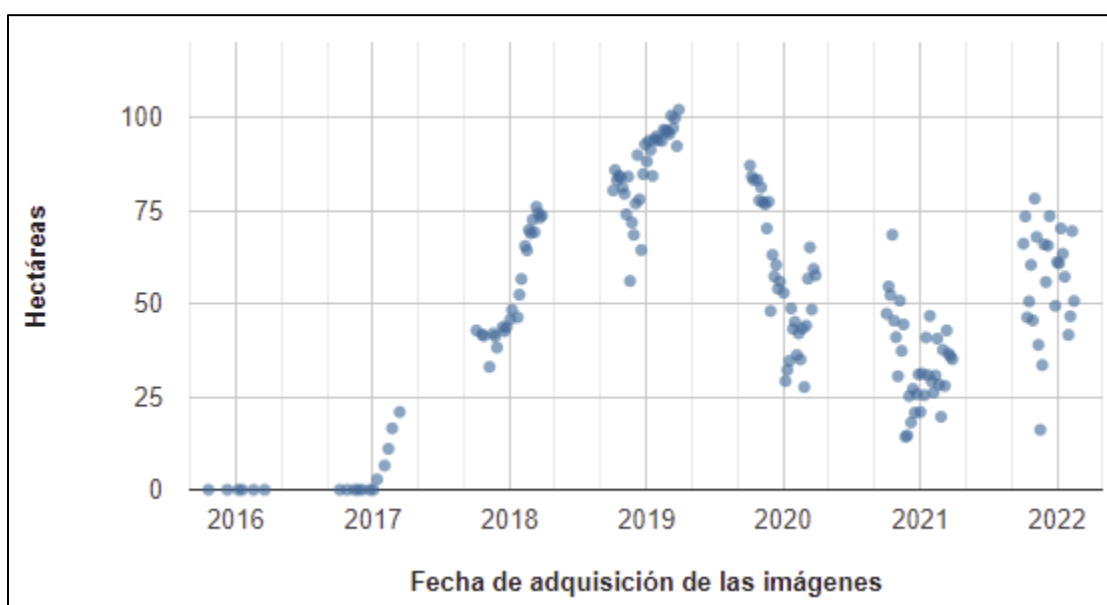


Tabla 2. Magnitud de superficie de aguas en zona de análisis.

<i>Fecha</i>	<i>Ha</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ha</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ha</i>
20-10-2015	0	08-03-2018	69.2	23-03-2019	92.3
09-12-2015	0	13-03-2018	76	28-03-2019	102.116
08-01-2016	0	18-03-2018	74.3	04-10-2019	87.1
18-01-2016	0	23-03-2018	73.1	09-10-2019	84.1
17-02-2016	0	28-03-2018	73.67	14-10-2019	83.2
18-03-2016	0	04-10-2018	80.4	24-10-2019	83.3
04-10-2016	0	09-10-2018	85.9	29-10-2019	77.7
24-10-2016	0	14-10-2018	83.2	03-11-2019	81.2
13-11-2016	0	19-10-2018	84.3	08-11-2019	77.3
23-11-2016	0	24-10-2018	84	13-11-2019	76.7
03-12-2016	0	29-10-2018	81.2	18-11-2019	70.2
23-12-2016	0	03-11-2018	79.5	23-11-2019	77.4
02-01-2017	0	08-11-2018	74	28-11-2019	48
12-01-2017	2.8	13-11-2018	84.1	03-12-2019	63.1
01-02-2017	6.5	18-11-2018	56.1	08-12-2019	57.3
11-02-2017	11	23-11-2018	71.8	13-12-2019	60.4
21-02-2017	16.5	28-11-2018	68.5	18-12-2019	54
13-03-2017	20.9	03-12-2018	76.9	23-12-2019	55.9
04-10-2017	42.8	08-12-2018	89.9	02-01-2020	52.9
19-10-2017	41.7	13-12-2018	78	07-01-2020	29.2
24-10-2017	41.3	18-12-2018	64.4	12-01-2020	32.2
08-11-2017	33	23-12-2018	84.8	17-01-2020	34.6
18-11-2017	42	28-12-2018	92.8	22-01-2020	48.7
23-11-2017	41.2	02-01-2019	88.2	27-01-2020	43.2
28-11-2017	38.2	07-01-2019	93.7	01-02-2020	45.1
13-12-2017	43.7	12-01-2019	91.3	06-02-2020	36.2
18-12-2017	42.6	17-01-2019	84.3	11-02-2020	42
23-12-2017	43.6	22-01-2019	94.1	16-02-2020	35
02-01-2018	45.7	27-01-2019	94.9	21-02-2020	43.3
07-01-2018	48.3	01-02-2019	93.9	26-02-2020	27.6
22-01-2018	46.3	11-02-2019	93.7	02-03-2020	44.1
27-01-2018	52.4	16-02-2019	96.7	07-03-2020	56.7
01-02-2018	56.6	21-02-2019	96.5	12-03-2020	65.1
11-02-2018	65.5	26-02-2019	96.2	17-03-2020	48.398
16-02-2018	64.3	03-03-2019	95.6	22-03-2020	59.327
21-02-2018	69.8	08-03-2019	100.5	27-03-2020	57.587
26-02-2018	68.9	13-03-2019	97.2	03-10-2020	47.3
03-03-2018	72.5	18-03-2019	99.827	08-10-2020	54.6

<i>Fecha</i>	<i>Ha</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ha</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ha</i>
13-10-2020	52.3	21-01-2021	30.8	02-11-2021	78.2
18-10-2020	68.5	26-01-2021	46.7	07-11-2021	67.9
23-10-2020	45.4	31-01-2021	29.1	12-11-2021	38.9
28-10-2020	41	05-02-2021	26.1	17-11-2021	16.1
02-11-2020	30.5	10-02-2021	30.7	22-11-2021	33.5
07-11-2020	50.8	15-02-2021	40.6	27-11-2021	65.9
12-11-2020	37.3	20-02-2021	28.2	02-12-2021	55.8
17-11-2020	44.4	25-02-2021	19.6	07-12-2021	65.6
22-11-2020	14.2	02-03-2021	37.6	12-12-2021	73.5
27-11-2020	14.6	07-03-2021	27.9	27-12-2021	49.4
02-12-2020	25.2	12-03-2021	42.8	01-01-2022	61.2
07-12-2020	18.1	17-03-2021	36.6	06-01-2022	60.8
12-12-2020	27.1	22-03-2021	35.9	11-01-2022	70.2
17-12-2020	20.7	27-03-2021	35.068	16-01-2022	63.4
22-12-2020	25.7	03-10-2021	66.1	21-01-2022	57.2
27-12-2020	31	08-10-2021	73.4	31-01-2022	41.6
01-01-2021	20.9	13-10-2021	46.3	05-02-2022	46.6
06-01-2021	31.2	18-10-2021	50.6	10-02-2022	69.5
11-01-2021	25.4	23-10-2021	60.4	15-02-2022	50.7
16-01-2021	40.9	28-10-2021	45.5		

4.2 Magnitud en superficie de espejo de agua

Se identificaron dos imágenes que muestran cambios en el fondo de la cubeta que evidencian un proceso de tratamiento del suelo del fondo del tranque, el que estaría asociado al proceso de impermeabilización. Las imágenes corresponden al 24 de octubre de 2016 (Figura 5) y el 13 de noviembre de 2016 (Figura 6).

La suma de las superficies detectadas en ambas imágenes suma un área de 2,41 hectáreas, sin embargo, es necesario destacar que la utilización de píxeles de 10 metros de resolución espacial otorga un margen de duda sobre algunos píxeles, los que podrían llegar hasta un total de 2,61 hectáreas.

Figura 6. Imagen de impermeabilización al 24-10-2016.



Figura 7. Imagen de impermeabilización al 13-11-2016.

