
MEMORANDUM

ASUNTO / SUBJECT:
Análisis de medidas exigidas de control
de polvo asociada a RCA de
proyecto "Optimización y Continuidad
Operacional Minera Candelaria"
(Depósito Nantoco)

FECHA / DATE:
07/11/2024

De / From:
Joanna Rojas

Referencia / Our ref:
5283-0000-MA-MMT-004_1

A / To:
Eva Tobar (CCMC)
Sebastián Urquieta (CCMC)

Copias / Copies:
P-5283

ARCADIS Chile SpA
Los Militares 4611,
Oficina 61, Piso 6,
Las Condes
Santiago
Chile
CP 756 0968
Tel +56 2 2381 6000
info.cl@arcadis.com
www.arcadis.cl

De nuestra consideración,

Mediante el presente Memorándum Técnico se presenta un resumen de los análisis técnicos desarrollados con respecto a la viabilidad de algunas de las exigencias establecidas en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del Proyecto EIA "Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria", principalmente asociadas a medidas de control y monitoreo de fuentes de emisión atmosféricas.

1 INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta un resumen de los principales análisis de las medidas exigidas en la RCA N°202303101169 del EIA “Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria”, específicamente, aquellas establecidas en la sección 7.2.2 Instalación malla NETPORT para el control de emisiones y en el punto 11.2.4 asociada a la exigencia de realizar un monitoreo durante toda la vida útil del proyecto *in situ* durante al menos 3 días seguidos por medio de instrumentos de medición de emisiones calibrados por empresa certificada en cada una de las fuentes de emisión identificadas al momento en que se producen las emisiones producto de las acciones consideradas en las distintas fases del proyecto.

2 DESARROLLO DE TEMAS RELEVANTES

2.1 SOLICITUD DE INSTALACIÓN DE MALLA NETPORT PARA CONTROL DE EMISIONES

En la sección 7.2.2 de la RCA del Proyecto “Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria” (en adelante “EIA Candelaria 2040”), se señala que:

“El Titular deberá instalar una malla NETPORT tejida en tres capas en monofilamento de polietileno de alta densidad con tratamiento estabilizador de rayos ultravioleta y retardante del fuego”.

Como referencia la malla netport a usar debe tener una masa de 330 g/m²; espesor 1,34 mm; bloqueo paso de luz densidad 93%. Las características señaladas son solo referenciales, pues se podrán implementar mallas de características distintas, pero controlando el ingreso del viento al interior del depósito, acopio o frente de trabajo y controlando la emisión de material particulado que podría salir del depósito, acopio o frente de trabajo.

La malla debe tener una altura mínima de 3 metros por sobre la cota máxima del depósito o acopio más alto con el fin de evitar que la erosión eólica arrastre material del depósito de estériles hacia sectores agrícolas de Nantoco.

La extensión de implementación de malla en el sector de ampliación del depósito Nantoco. Es importante aclarar que este impacto se refiere a la afectación que recae exclusivamente sobre la agricultura industrial de exportación en la localidad de Nantoco. durante el proceso de evaluación la Autoridad Ambiental ha determinado mejorar la Medida original propuesta a través de la denominada “Instalación Malla Netport para Control de Emisiones” debido a la mayor eficiencia y durabilidad de esta y en consideración que es ampliamente usada en el control de emisiones desde los depósitos de la minería.

Esta malla debe estar dispuesta alrededor de todo el depósito Nantoco, Acopios de empréstitos usados por el proyecto y frentes de trabajo.

La malla no deberá estar distanciada más de 5 metros del límite de depósitos, acopios y frentes de trabajo para mejorar la efectividad de la medida al estar más cercana de la fuente de emisión.

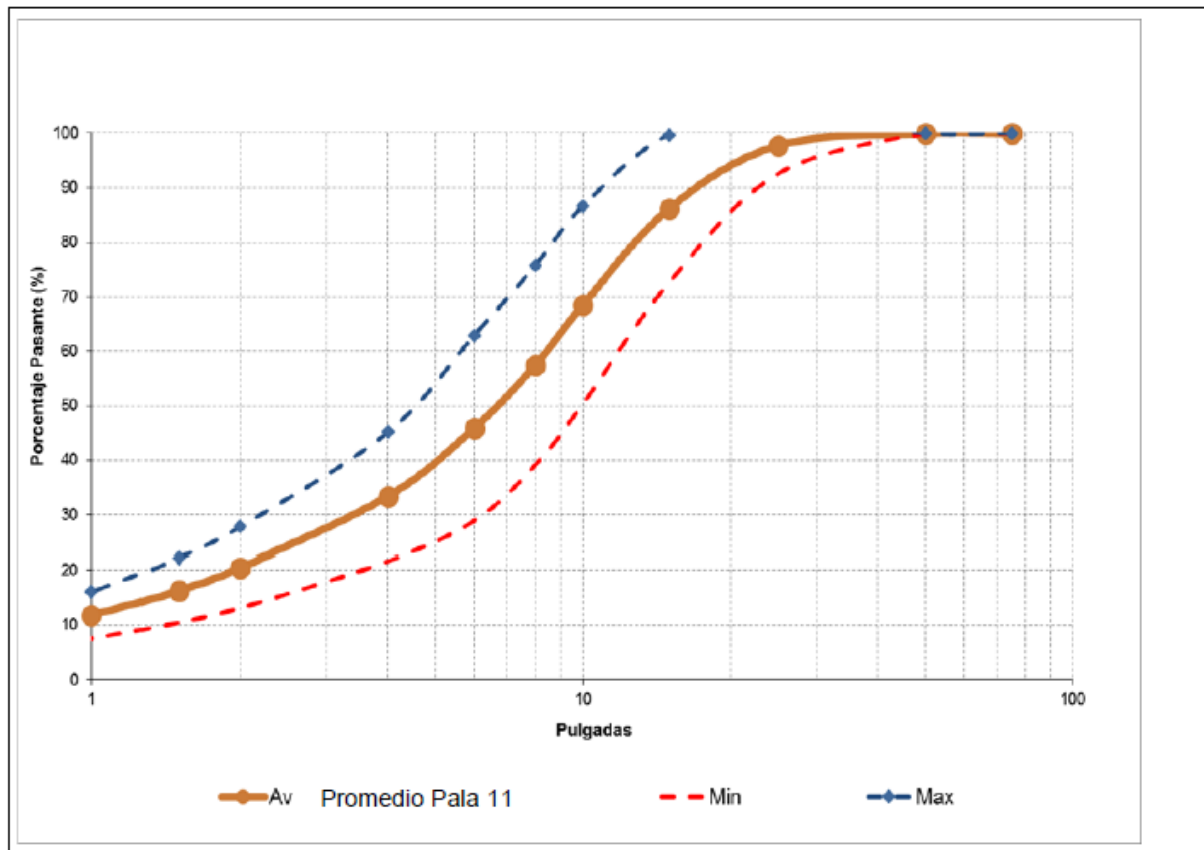
En función de los requerimientos establecidos en la RCA, a continuación, se presenta un análisis de implicancias y viabilidad de las medidas exigidas.

2.1.1 Potencial erosivo – Depósitos de Estériles

La operación de los depósitos de estériles sobre los cuales la Autoridad incorpora el requerimiento de instalar mallas corresponde a depósitos de Estériles, se encuentran autorizados ambientalmente mediante RCA N°202303101169 y sectorialmente por SERNAGEOMIN. En este sentido, la operación de estos depósitos contempla la depositación de material estéril proveniente desde el proceso de explotación de los rajos Candelaria y La Española. Este material estéril se genera a tasas promedio de 48.300 kt/año desde los rajos antes descritos, son transportados mediante camiones mineros y dispuestos en los depósitos de estériles mediante el sistema de vaciado directo de la carga del camión. En este sistema, los materiales volteados al final de las plataformas se acomodarán sobre el talud a su ángulo de reposo, estimándose el uso de equipos bulldozer para facilitar, apoyar y direccionar las operaciones de vaciado solo en caso de requerirse.

En lo que respecta a la granulometría del material estéril que se depositara en los depósitos de estériles, este tipo de material presenta escaso porcentaje de materiales finos (1 – 3% bajo malla #200). Esto debido principalmente al diseño de tronaduras y la alta calidad del macizo rocoso, caracterizándose por ser rocas volcánicas altamente competente, donde el 90% del material presenta un diámetro mayor a 1" (una pulgada), tal como se muestra en la Figura 1 de curva granulométrica a continuación.

Figura 1. Curva Granulométrica Material de Cobertura Depósitos



Fuente: CCMC, 2024.

Los antecedentes anteriormente expuestos, confirman lo establecido por el modelo SWEEP en relación con que los depósitos de estériles que presentan material grueso, con un contenido de finos de menos del 3%¹, producen muy bajas emisiones de material particulado por erosión eólica.

Lo anterior se traduce en que, los depósitos de estériles conformados por material grueso, con un contenido de finos de menos del 3%² y granulometría de las partículas $\geq 1"$, se determinó utilizando la fórmula de Bagnold, que se requeriría de una velocidad umbral crítica del viento mayor de 13 m/s para remover una partícula de 1". Esto se obtiene de la siguiente de la ecuación de Bagnold, con los valores que se presentan a continuación, resultando así una velocidad de umbral crítica (U_t) de 3,79 m/s.

$$U_t = A * \left[g * d * \frac{(p_s - p)}{p} \right]^{0,5} * (1,8 + 0,6 \log w)$$

¹ Se considera fino aquel material que pasa por el tamiz malla #200 (ASTM)

² se considera fino a aquel material que pasa por el tamiz malla #200 (ASTM)

Referencia:

5283-0000-MA-MMT-004_1

Donde:

Ut: Velocidad umbral de fluido

A: coeficiente empírico de turbulencia, que relaciona la rugosidad del material y tipo de fluido ($\approx 0,1$)

ps: densidad de la partícula ($1,8 \text{ t/m}^3$)

p: densidad del aire, ($0,00122 \text{ t/m}^3$)

g: aceleración de gravedad, ($9,8 \text{ m/s}^2$)

d: diámetro medio de la partícula ($2,54 \text{ cm}$)

w: humedad de la partícula en porcentaje (2%)

Cabe señalar que para la velocidad umbral se considera como referencia la velocidad del anemómetro, el cual está ubicado a una altura de referencia de 7 m, por lo cual se debe corregir dicha velocidad del viento para llevarla a nivel superficial, para esto se utiliza el método de la Ley de Potencia:

$$V/V_r = (H/H_r)^{Sf}$$

Donde:

V : Es la velocidad del viento a la nueva altura (m/s).

Vr : Es la velocidad del viento a la altura referencia u original ($3,79 \text{ m/s}$)

Hr : Es la altura referencia u original ($0,02 \text{ m}$)

H : Es la nueva altura donde la nueva velocidad se desea calcular (7 m)

Sf : Es el factor de corte de acuerdo con la tabla dada obtenido por métodos experimentales ($0,21$)

De acuerdo con esto, para una velocidad umbral $3,79 \text{ m/s}$ asociada a una altura de 7 m , se obtiene que para remover una partícula de $1''$ a nivel superficial se requiere de una velocidad del viento de $13,0 \text{ m/s}$.

Adicional a información de viento antes indicada, CCMC reviso los registros de vientos asociadas al periodo 2023 al 2024, correspondientes a la estación meteorológica operativa denominada Mina Rajo, la cual se emplaza cercana al emplazamiento de los depósitos de estériles, tal como se observa en Tabla 1.

Tabla 1: Ubicación Estación Rajo Mina

Estación Meteorológica	Coordenadas WGS84 H19	
	Este (m)	Norte (m)
Rajo Mina	371.700	6.955.246

Fuente: CCMC, 2024.

Figura 2. Emplazamiento Estación Monitoreo Operativa Mina Rajo en relación con Depósitos de Estériles



Fuente: Arcadis, 2024.

Los registros medidos en esta estación para el periodo 2023 – 2024 muestran que la velocidad del viento promedio mensual se encuentra en un rango de 1,4 a 2,3 m/s, mientras que las velocidades máximas mensuales varían entre 4,6 a 8,4 m/s, valores que muestran tendencias similares a los registros presentados en el EIA “Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria”.

Los registros asociados a la velocidad de viento para el periodo 2024 en la Estación Meteorológica “Rajo Mina” se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores Medidos Velocidad de Viento Estación Meteorológica “Rajo Mina” Ene-May 2024.

Velocidad del Viento (m/s)	Mes											
	Jun23	Jul23	Ago23	Sep23	Oct23	Nov23	Dic23	Ene24	Feb24	Mar24	Abr24	May24
Promedio Mensual	1,5	1,5	1,7	2,0	2,0	2,3	2,3	2,3	2,3	1,9	1,7	1,4
Máximo Horario Mensual	5,0	4,6	8,4	7,6	6,0	7,4	6,4	8,1	6,9	6,7	5,8	4,7
Mínimo Horario Mensual	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0

Fuente: CCMC, 2024.

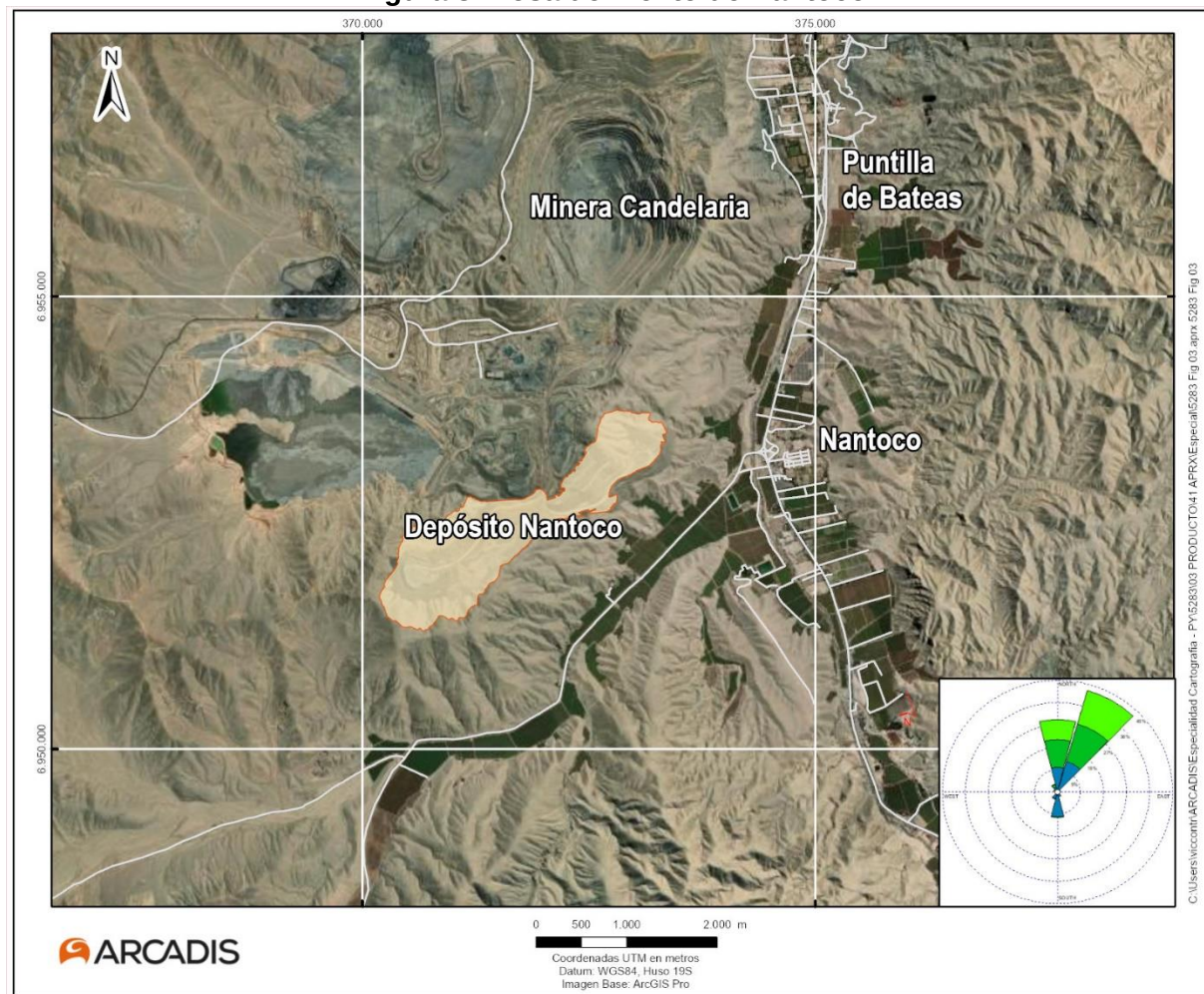
Por otra parte, es factible considerar además que la emisión por erosión en botaderos tiende a una reducción por cuanto el fino que es depositado tiende a disminuir a medida que los frentes de trabajo se vayan reduciendo en el tiempo.

Con base a lo anterior, los depósitos de Estériles alcance del EIA “Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria” no se consideran fuentes relevantes de emisión continua de material particulado. Esto se debe a la combinación que se genera al contar con material estéril con bajos porcentajes de finos y a las velocidades de viento predominante en la zona, que son escasas para levantar dicho material. Siendo las principales emisiones proyectadas para este tipo de obras las que se generan producto del proceso unitario de descarga de material al momento de depositación de este, y no están asociadas a eventos de erosión eólica, sobre lo cual apunta la medida impuesta por la Autoridad en RCA N°202303101169.

2.1.2 Análisis de Vientos predominantes

CCMC tendiente a definir la dirección predominante del viento en la zona de emplazamiento de la faena Candelaria y de esta manera poder establecer los sectores más adecuado para la implementación de imposición de malla incluida por la Autoridad en RCA N°202303101169, lleva a cabo un análisis detallado de los registros de vientos obtenidos de estaciones de monitoreo emplazadas cercanas al área de emplazamiento de los depósitos de Estériles presentados en el Capítulo 3.1 “Clima y Meteorología” del EIA “Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria”, aprobado mediante la RCA N°20230310662/2023. Este análisis reveló que la dirección predominante del viento en el sector proviene principalmente del Norte, como se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Rosa de Viento de Nantoco

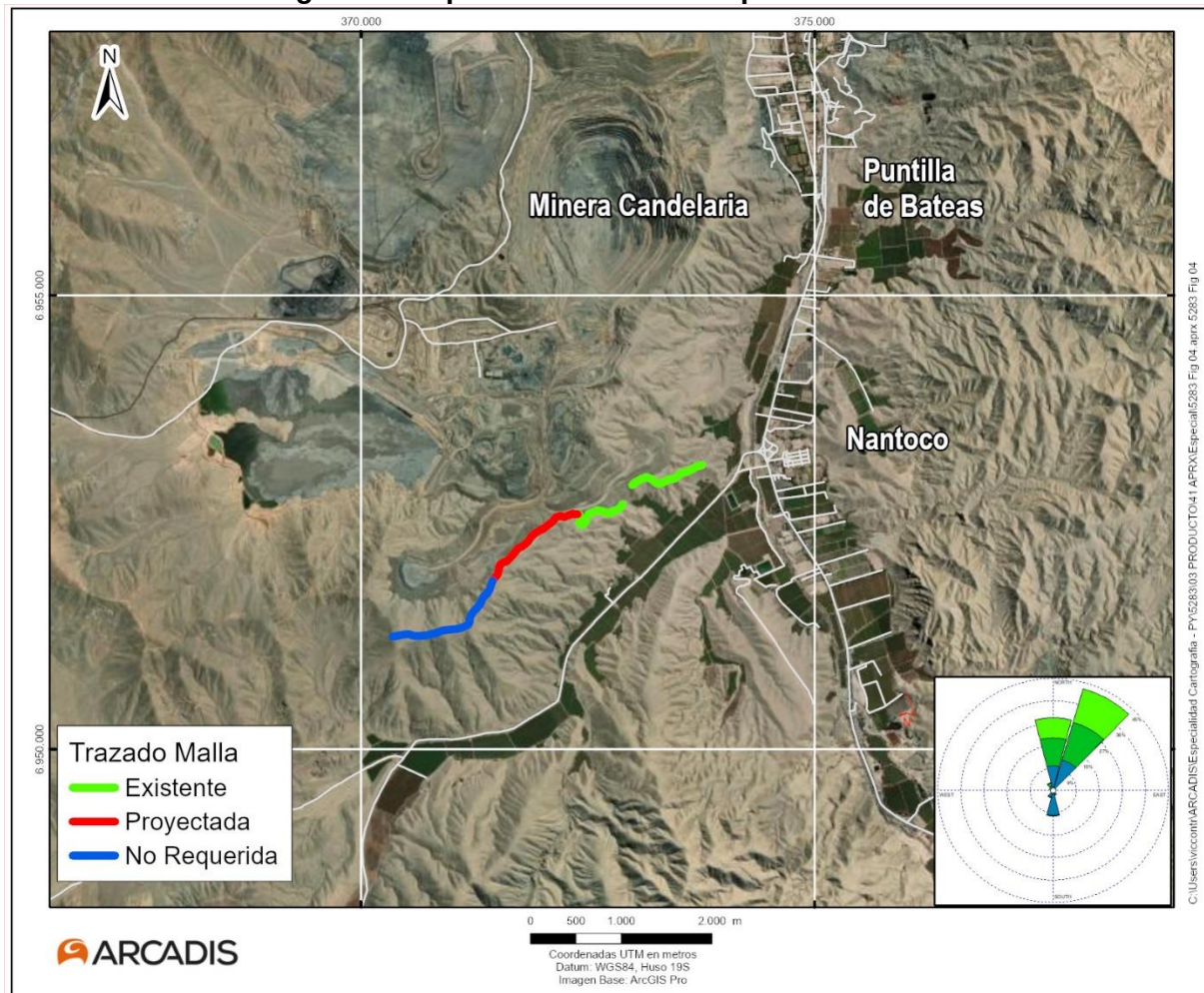


Fuente: Anexo 3.3 Adenda Extraordinaria, EIA.

Esta condición prevalece prácticamente durante todo el día, incluyendo las horas críticas de mayor velocidad del del viento, la cual es la que presenta el mayor potencial de erosión (entre las 9 a 18 hrs). Cabe destacar que las localidades que se encuentran más cercanas al sector de emplazamiento de los depósitos de estériles corresponden a las localidades de Tierra Amarilla y Nantoco, las cuales se ubican en dirección contraria de los vientos predominantes, tal como se puede observar en Figura 3.

Producto de lo anterior, y teniendo presente que el objetivo final de la medida impuesta por la Autoridad es evitar la emisión de material particulado sobre receptores sensibles de calidad de aire identificados cercanos a la zona de emplazamiento del Proyecto, es que la imposición de la Autoridad de instalación de mallas alrededor de los depósitos de estériles resultaría efectivo en los sectores sur de los depósitos. En base a lo anterior, en la Figura 4 presentan los sectores en los cuales CCMC propone la instalación de malla en el botadero de Nantoco.

Figura 4. Emplazamiento malla depósito Nantoco



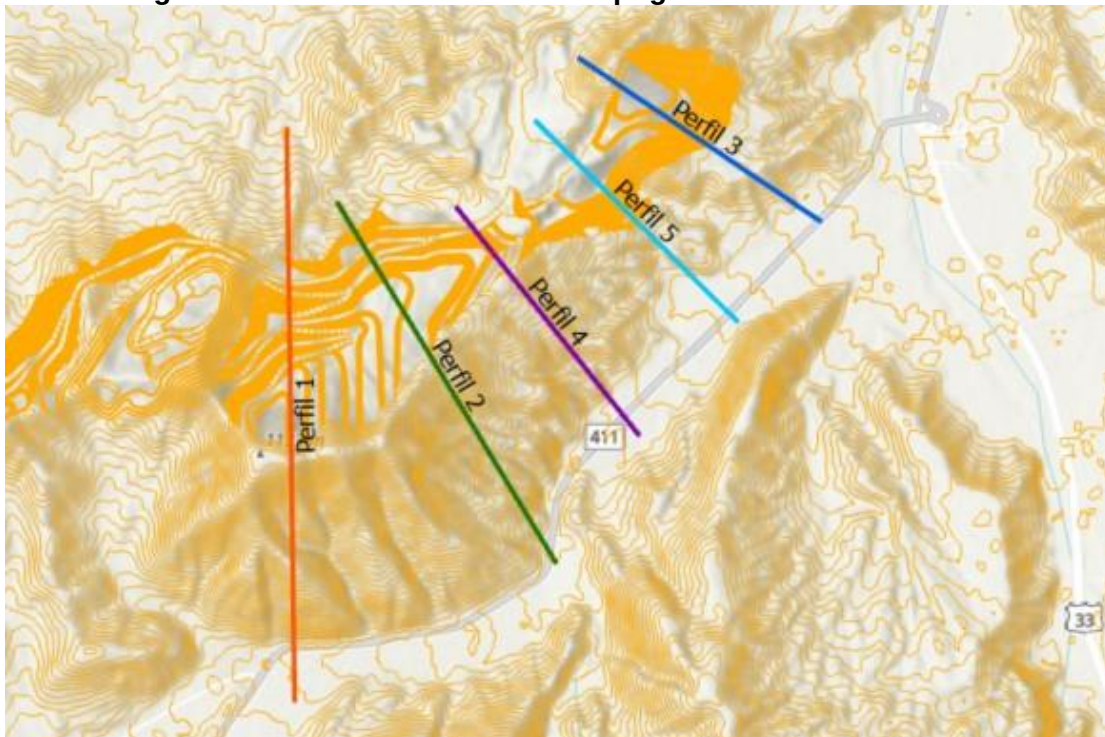
Fuente: Arcadis, 2024.

Sin perjuicio de lo anterior, es importante indicar que si bien CCMC declara que está de acuerdo con la implementación de mallas en ciertos sectores emplazados en el extremo sur de los depósitos de estériles que se encuentren más cercanos a la Comunidad, cabe hacer presente la no factibilidad técnica de dar cumplimiento cabal de las especificaciones técnicas impuestas por la Autoridad, respecto a que malla debe estar distanciada a no más de 5 metros de la fuente y una altura de 3 metros sobre la altura del depósito. Describiéndose en secciones a continuación los motivos técnicos que imposibilitan dar fiel cumplimiento de especificaciones técnicas impuestas por la Autoridad.

a) Perfiles topográficos Depósito Nantoco

En la Figura 5 se presenta la ubicación de los distintos perfiles topográficos de terreno realizados por CCMC asociados al depósito de estériles Nantoco, mediante los cuales fue factible determinar que para dar cumplimiento con lo impuesto por la Autoridad se requiere instalar mallas con una altura superior a los 200 m para cumplir con los criterios establecidos por la Autoridad.

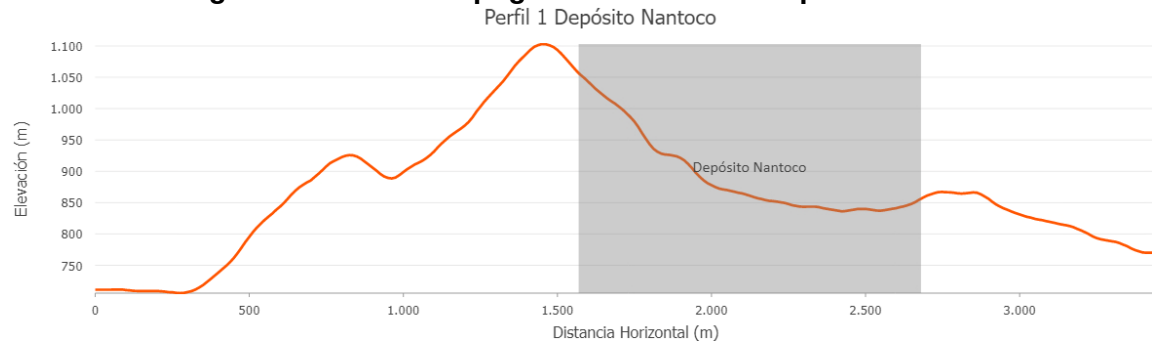
Figura 5. Trazado de Perfiles de Topografía Botadero Nantoco



Fuente: Arcadis, 2024.

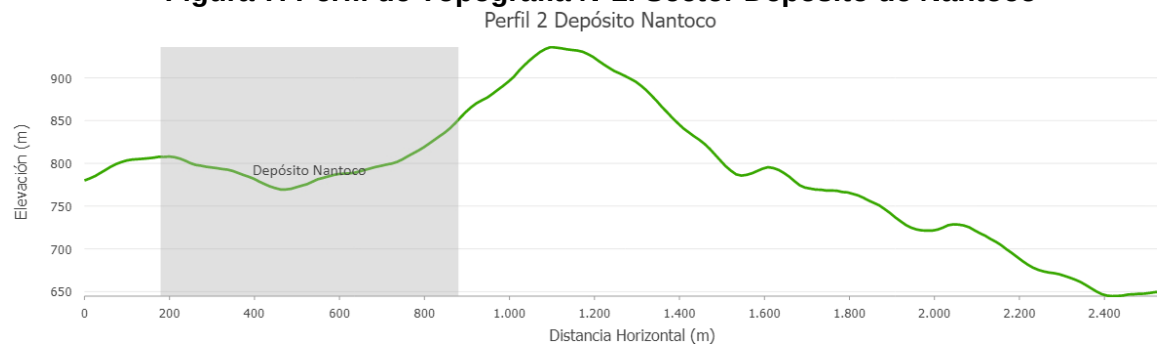
En la Figura 6 y Figura 7 se presenta la topografía según trazado de los perfiles 1 y 2 respectivamente, asociados a botadero Nantoco, donde queda en evidencia que para el perfil N°1 la altura del depósito alcanza una elevación del 1.100 msnm y la elevación de terreno en el sector sur del trazado que bordea los 850 msnm. En cambio, para el perfil N°2 la elevación de terreno (izquierda del perfil) bordea los 770 msnm y la elevación del botadero los 1000 msnm.

Figura 6. Perfil de Topografía N°1. Sector Depósito de Nantoco



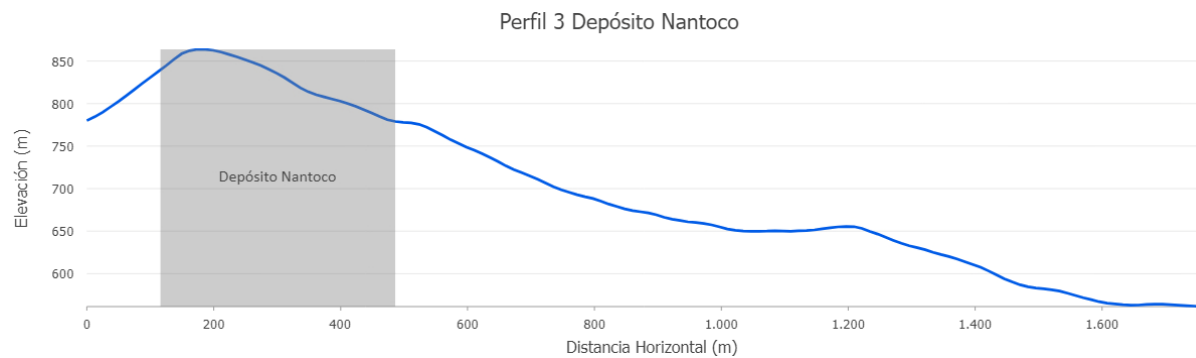
Fuente: Arcadis, 2024.

Figura 7. Perfil de Topografía N°2. Sector Depósito de Nantoco



Fuente: Arcadis, 2024.

Figura 8. Perfil de Topografía N°3. Sector Depósito de Nantoco



Fuente: Arcadis, 2024.

Figura 9. Perfil de Topografía N°4. Sector Depósito de Nantoco

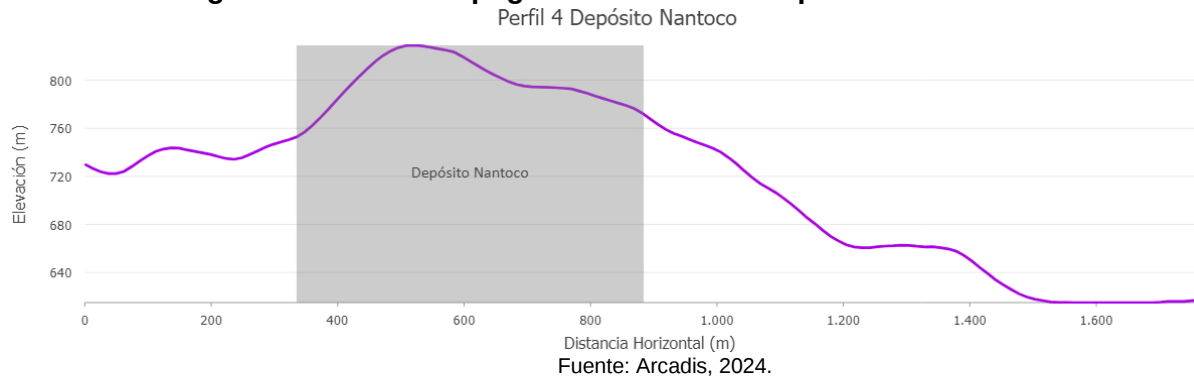
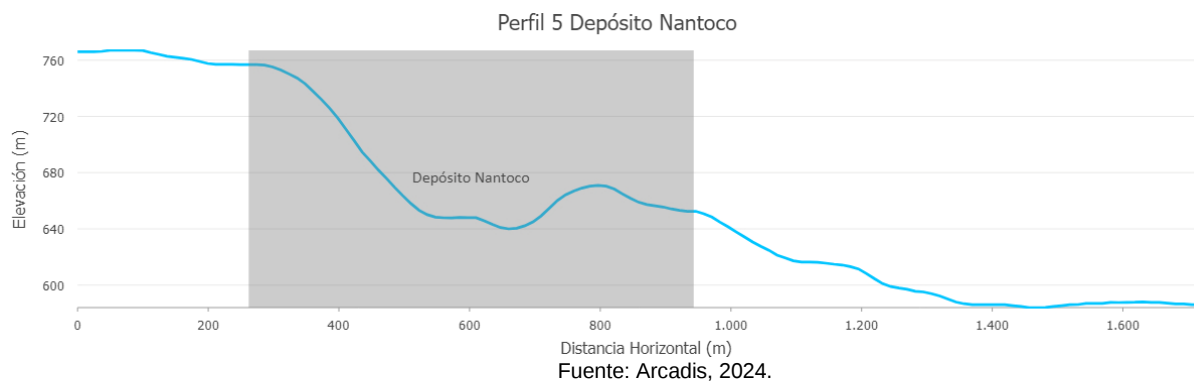


Figura 10. Perfil de Topografía N°5. Sector Depósito de Nantoco



De acuerdo con estos resultados es posible determinar que, considerando el requisito impuesto en la RCA (altura de malla requerida de 3 m por sobre la cota de botaderos) implicaría que las alturas que deberían contar las mallas en dicho lugar tendrían que alcanzar más de 200 m.

- **Topografía natural entorno depósito Nantoco:** Es factible considerar también que los cerros pueden servir de barrera natural para evitar el paso de material particulado, esto principalmente donde las elevaciones de sus cumbres resultan mayor a la altura del botadero existente o del proyectado.

Para visualizar este análisis se elabora la Figura 11, donde a partir de la topografía y proyección de los botaderos, es factible establecer un trazado lineal de longitud de 1,4 km (línea azul) que, de acuerdo con lo expuesto en esta sección, no se requeriría la instalación de una malla dado que las elevaciones de terreno son mayores a la altura de los botaderos. En cambio, es factible establecer un trazado lineal de 1,3 km (línea roja y verde), donde esto no ocurre y por ende la instalación de la malla propuesta por la autoridad, pero considerando restricción de alturas propuestas en punto predecesor, podría cumplir con el objeto buscado por la Autoridad de servir como una medida de control de material particulado.

Figura 11. Situación de malla respecto de la altura de la topografía Botadero Nantoco



Fuente: Arcadis, 2024.

- Mantener los 1,7 km de mallas existentes hacia el sector de Nantoco, cercano a sectores agrícolas indicada en verde en Figura 11, con las alturas ya establecidas (3 metros como máximo) y complementándola con una nueva malla en los nuevos sectores donde se ampliará los límites de los botaderos hacia los sectores mencionados. Esto quiere decir agregar de 1,3 km de malla en el sector de Nantoco indicada en color rojo en Figura 11.

Se considera además de la medida impuesta por la Autoridad de implementación de mallas cercano al depósito Nantoco, como medida complementaria la implementación de actividades de humectación de los sectores activos de descarga de material de estéril en el Depósito de Estéril Nantoco aledaños a sectores de cultivos, según se presenta en la Figura 12. Esto en complemento también a la medida de humectación de caminos no pavimentados en el interior de la mina que se estableció en el EIA "Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria".

Figura 12. Sector de descarga de Depósito Nantoco medida humectación durante proceso de descarga material estéril



Fuente: Arcadis, 2024.

Para el caso del botadero Nantoco existe un sector donde la topografía impediría en forma natural que la dispersión de material particulado se produzca sobre sectores agrícolas, por lo que se considera que no resultaría necesario instalar malla perimetral en todo el sector sur del botadero, esto en consideración de las direcciones predominantes de viento y antecedentes expuestos tanto durante la evaluación ambiental del Proyecto y el presente memorándum.

En el caso de considerar las condiciones que deben cumplir estas mallas (altura mínima de 3 metros por sobre la cota máxima del depósito y 5 metros del límite de depósitos y acopios) implicaría tener que instalar mallas con alturas en torno a los 200 m lo que resulta inviable desde el punto de vista de ingeniería, en términos estructurales y de resistencia del material de las mismas mallas a velocidades del viento que se pueden registrar a dichas alturas, lo cual podría llevar consigo, problemas estructurales y de resistencia al viento, por lo cual, estas mallas estarían expuestas a riesgos de colapso antes eventos climáticos extremos que dificultarían tanto las actividades de mantenimiento e inspecciones.

A mayor abundamiento, el terreno en el cual se emplazaría la obra impuesta por el SEA, debe instalarse en una zona donde el terreno sea firme y permita sustentar la instalación de obras metálicas que den soporte a la malla, lo cual, en este caso, no podría ser posible, bajo la

consideración que, donde se ubicaría esta estructura corresponde a un suelo de relleno, no presentado así, las condiciones de firmeza necesarias para soportar el peso de la estructura.

En síntesis, la implementación de esta obra en los términos impuestos por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), serían inviables desde el punto de vista técnico-ambiental, dado que la estructura a instalar deberá resistir el viento presente en la parte alta, y que, a su vez, ser sólida y fácilmente desmontable en caso de desperfectos, lo cual, dada la envergadura de la obra propuesta por el SEA, no es factible, cuestionándose la eficiencia que podría tener esta medida, en el contexto de lo requerido por la Autoridad.

3 CONCLUSIONES

Para el caso de las mallas, bajo los análisis realizados, resultaría recomendable mantener la instalación de las existentes en el botadero de Nantoco (cercano a sectores agrícolas) con las alturas con la cual ya estas han sido construidas (2 a 3 metros como máximo) y complementar la instalación en los nuevos sectores donde la elevación de terreno no exceda la elevación del botadero existente o proyectado (sector de Nantoco).

De acuerdo con lo analizado en este documento es factible establecer que el seguimiento de los resultados presentados para la componente de calidad del aire en el EIA “Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria”, en los receptores de interés identificados para la localidad de Tierra Amarilla y Nantoco, se realice por medio de modelaciones anuales, efectuadas por medio de estimación de emisiones utilizando factores de emisión. Esto debido a la inviabilidad de realizar mediciones particulares en cada fuente de emisión.

Por último, se recomienda complementar con medidas de humectación en botaderos en los sectores activos de descarga en el sector de Nantoco cercano a población y agrícolas.

Saluda atentamente,

ARCADIS

Joanna Rojas
Jefa de Proyecto