

## WORKSHOP 4

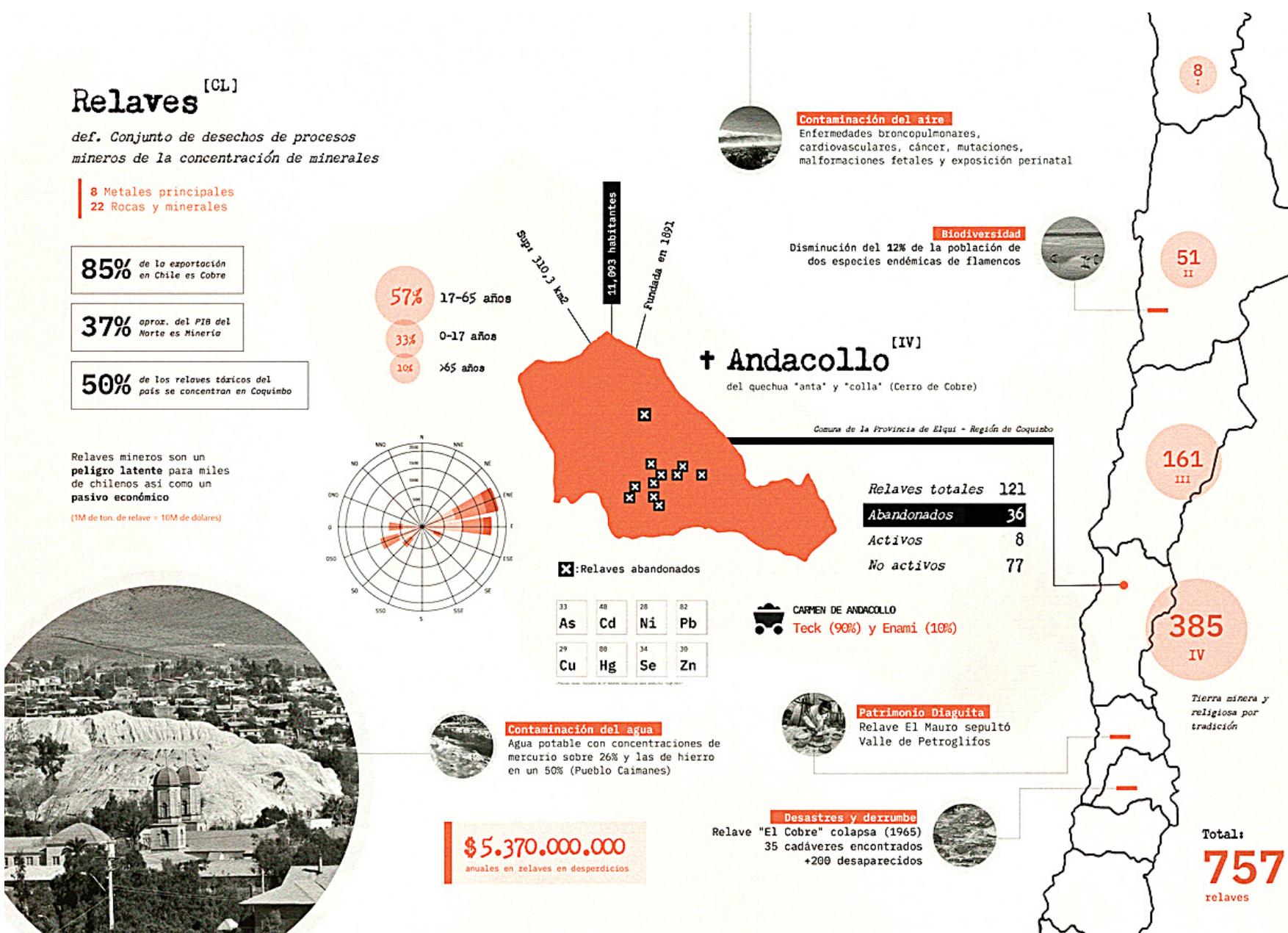
# Automatización: Área de influencia de relaves y contaminación del aire

por Alejandro Cifuentes, Martín Seguel, Trinidad Yañez y Martín Zúñiga

# Índice de contenidos

- i Resumen Workshop 1  
Contexto de Chile respecto a la minería y fundamentación foco comuna de Andacollo
- ii Resumen Workshop 2  
Área impacto relaves a zona urbana y población adyacente
- 1 **Planteamiento del problema**  
Impacto de la contaminación de los relaves en función de la población andacollina
- 2 **Mapas de contexto y Flujo Metodológico**  
Información de toxicidad de relaves en Andacollo y relación con población/servicios públicos
- 3 **Cartografía con variables y resultados**  
Fundamentación de ponderaciones utilizadas y mapas obtenidos
- 4 **Automatización de un Modelo**  
Red
- 5 **Análisis y Conclusiones**  
Punto de resultados y conclusiones del estudio realizado.

# Peligros de relaves en Chile



Fuente: Elaboración Propia

Los Relaves son un **problema a nivel mundial**. Pueden llegar a tener tanto problemas químicos como estructurales. Desastres que contaminan aguas, aires y ecosistemas. Varios accidentes de derrumbes a lo largo de la historia que han arrasado con los habitantes de los pueblos.

Los Relaves que fueron cerrados en el pasado incorrectamente, son muy propensos a tener altas concentraciones de metales pesados. Y estando en un lugar como en el norte de Chile, el ambiente seco hace que el viento pueda dispersar el polvo tóxico hacia la zona urbana. Provocando enfermedades broncopulmonares, cardíacas, cáncer, mutaciones, malformaciones fetales y exposiciones perinatales.

[https://www.terram.cl/descargar/recursos\\_naturales/mineria/app\\_analisis\\_de\\_politicas\\_publicas/APP-24-La-mineria-y-su-pasivo-ambiental.pdf](https://www.terram.cl/descargar/recursos_naturales/mineria/app_analisis_de_politicas_publicas/APP-24-La-mineria-y-su-pasivo-ambiental.pdf)

# Evaluación y selección Andacollo

Usando la tabla de "**Catastro de Depósitos de Relaves en Chile (actualización 10-08-2020)**", se levantaron puntos que representan la localización de los diferentes depósitos. En el primer mapa (ver FIG. 1), las regiones se tiñen de un color rojo más intenso a medida de tener una mayor concentración. Según nos indica, la Región de Coquimbo es la más afectada. Por lo que hicimos el mismo procedimiento por comunas de esta (ver FIG. 2), resultando ser la comuna de **Andacollo nuestro zona de estudio** para la presente investigación (Workshop 2).

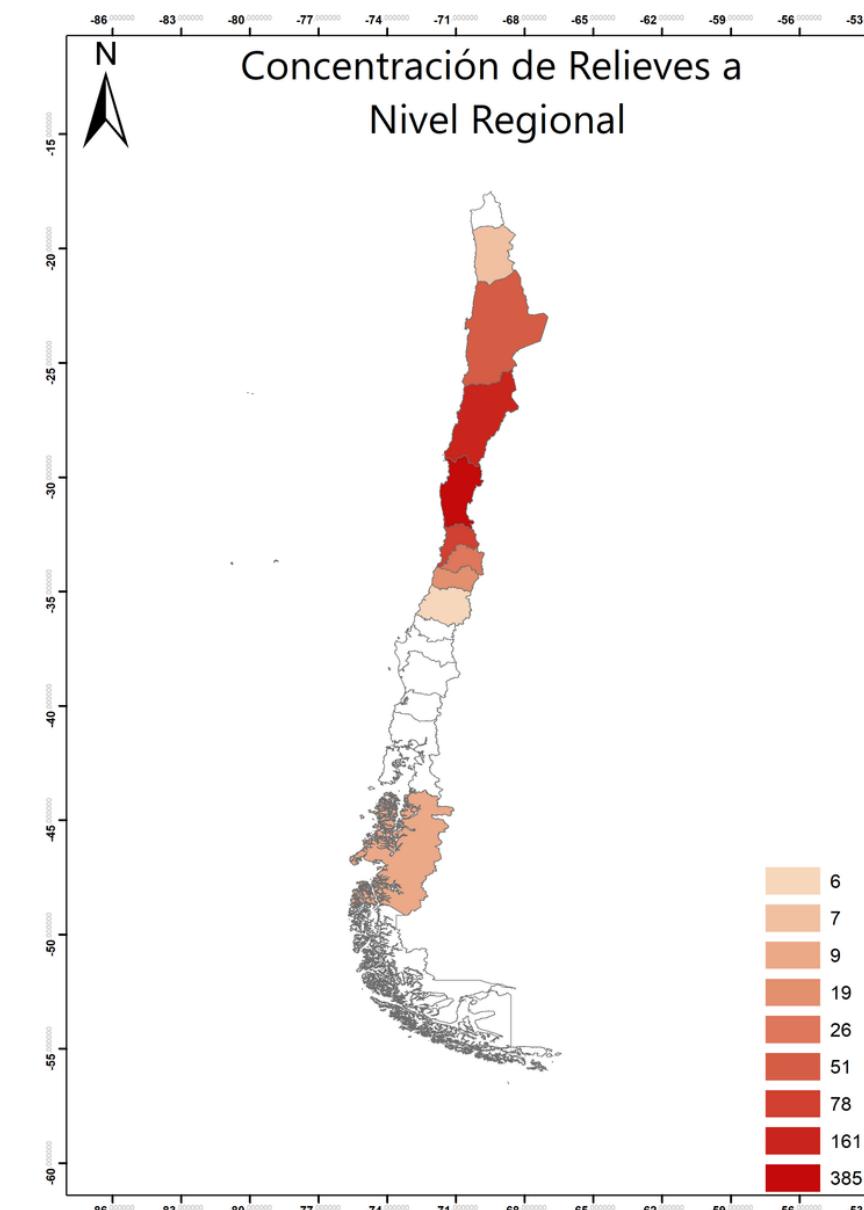


FIG 1. Concentración de relieves a nivel regional;  
Elaboración Propia

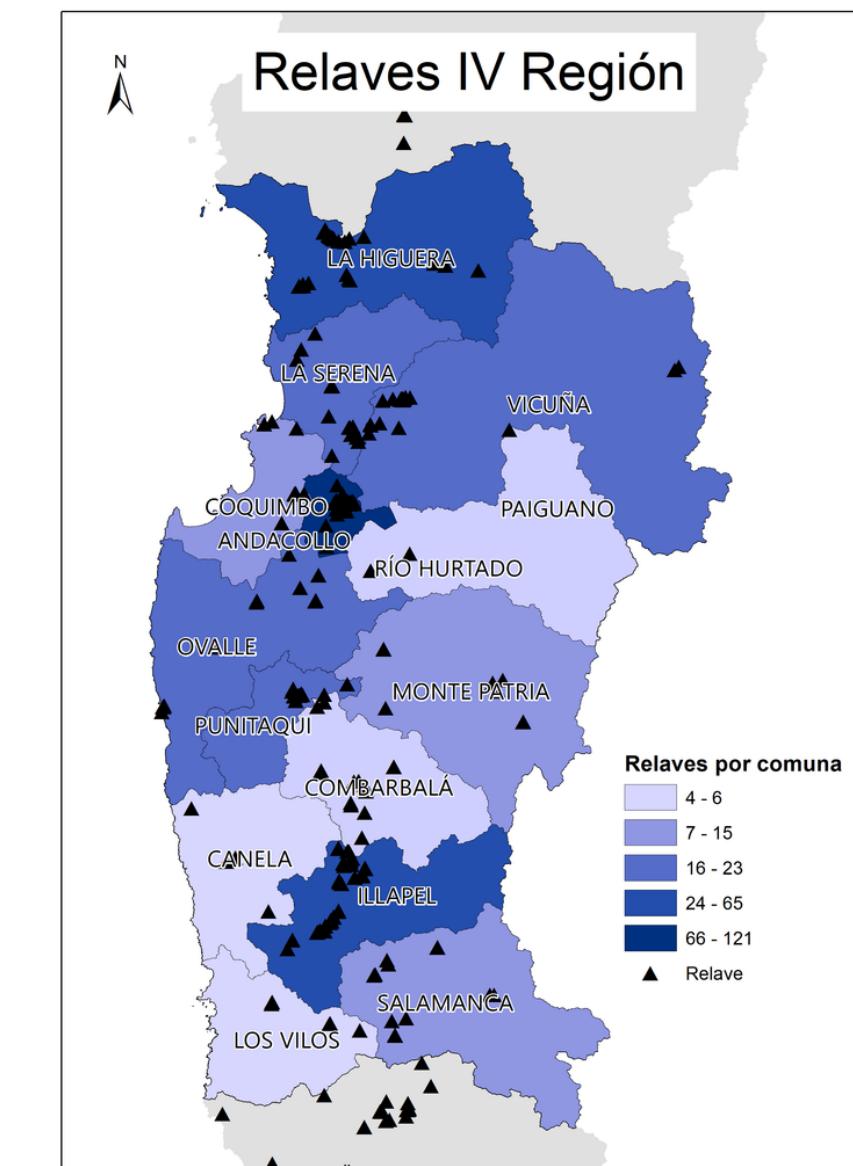


FIG 2. Relaves IV Región; Elaboración Propia



# Toxicidad relaves

Usando la tabla de "Datos de Geoquímica de Depósitos de Relaves de Chile (actualización: 13/01/2020)", de sernageomin, agregamos nuevas columnas para calcular el estado de los suelos de cada depósito según el reglamento Holandes. Según estas leyes, un relave puede ser categorizado como tóxico dependiendo de la concentración de cada elemento pesado. Las concentraciones analizadas son las siguientes:

**As, Pb, Cr, Cd, Hg, Ni, Cu y Zn.**

Con la información disponible, podemos obtener resultados del estado de toxicidad debido al elemento X : Relave Seguro, Se Requiere Información Adicional para Evaluar o Relave Definitivamente Tóxico. En este caso, vamos a categorizar los relaves que se necesitan más información como tóxicos. De esta manera, las decisiones que tomemos hasta tener mayor datos, serán las más seguras.

Al igual que en el estudio "Evaluation of soil intervention values in mine tailings in northern Chile" (ver FIG. 3), le asignamos a cada elemento un valor numérico para representar la gravedad de la concentración del elemento. Por ejemplo, es más grave tener un relave tóxico en arsénico que uno con altas concentraciones de cobre. Por eso nosotros solamente tomaremos como seguros los relaves con concentraciones de Zinc o de Cobre.

**Table 8** Assigned weights to each element for the calculation of the weighted intervention ranking.

Element	Assigned weight
Cr	2.0
Zn	1.0
Ni	3.0
Pb	3.0
Hg	2.0
Cu	1.0
Cd	3.0
As	3.0

**Note:**

Each row in this table shows an element with its respective weight for the calculation of the weighted intervention ranking.

**FIG 3.** Ponderación elementos químicos para calculo de toxicidad de relaves

# Contaminación aire (MP10)

\*PM10: Partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10  $\mu\text{m}$

Andacollo se encuentra entre las 20 ciudades de Latinoamérica más contaminadas, siendo la principal causa de muerte (2011) las enfermedades respiratorias (tasa ajustada de 262,46 por 100.000 habitantes), teniendo, a su vez, según los datos del 2014 del INE, una tasa de mortalidad más alta que la mortalidad bruta de la región y del País

Más allá de la contaminación de suelo de los relaves, los peligros se extienden a las partículas en suspensión que son arrastradas por las corrientes de viento causando problemas a la salud de la población al ingresar a las vías respiratorias de los individuos, ampliándose el espectro de peligrosidad de los mismos en la comuna. De acuerdo a la Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable (MP10) las recomendaciones de la OMS son sobrepasadas constantemente según el límite diario de 50 mg/m<sup>3</sup> y anual de 20 mg/m<sup>3</sup> de MP10 y superando la concentración de PM2,5 a 10 mg/m<sup>3</sup> al año con un promedio anual de 31 mg/m<sup>3</sup>.



FIG 4. Estadísticas vitales

“Cada tronadura de las mineras levanta una nube de polvo que genera una patología aguda tipo bronquitis (...) El perfil de mortalidad por causa respiratoria en la comuna de Andacollo refleja en parte la historia de la situación de salud respiratoria de la población”

Daniel Moraga, facultativo de la Universidad Católica

[https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas\\_v.html?anno=2017&idcom=4103](https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2017&idcom=4103)

<https://www.chilesustentable.net/2021/12/andacollo-los-impactos-de-la-mega-mineria-a-la-poblacion-que-no-cesan/>

# Toxicidad relaves y área de influencia

Tomando en cuenta un **área de influencia de 300 metros** respecto a cada relave, calculamos la superficie de esparcimiento de polvo de cada uno producto de la interacción con las corrientes de viento de la comuna, siendo éstas zonas focales con mayor probabilidad de provocar problemas de salud respiratorias a las personas que transitan/viven las manzanas adyacentes.

De esta forma, del total de la superficie de Andacollo, la comuna posee **2.280 m<sup>2</sup>** que se encuentran en una zona "levemente más segura" del levantamiento de tóxicos al aire de los relaves, pero la cantidad de personas afectadas directamente por la cercanía a los relaves es de **6.816 personas**, resultando clave la incorporación de la contaminación atmosférica de la zona urbana y la densidad de los relaves en esta misma (Workshop 3)

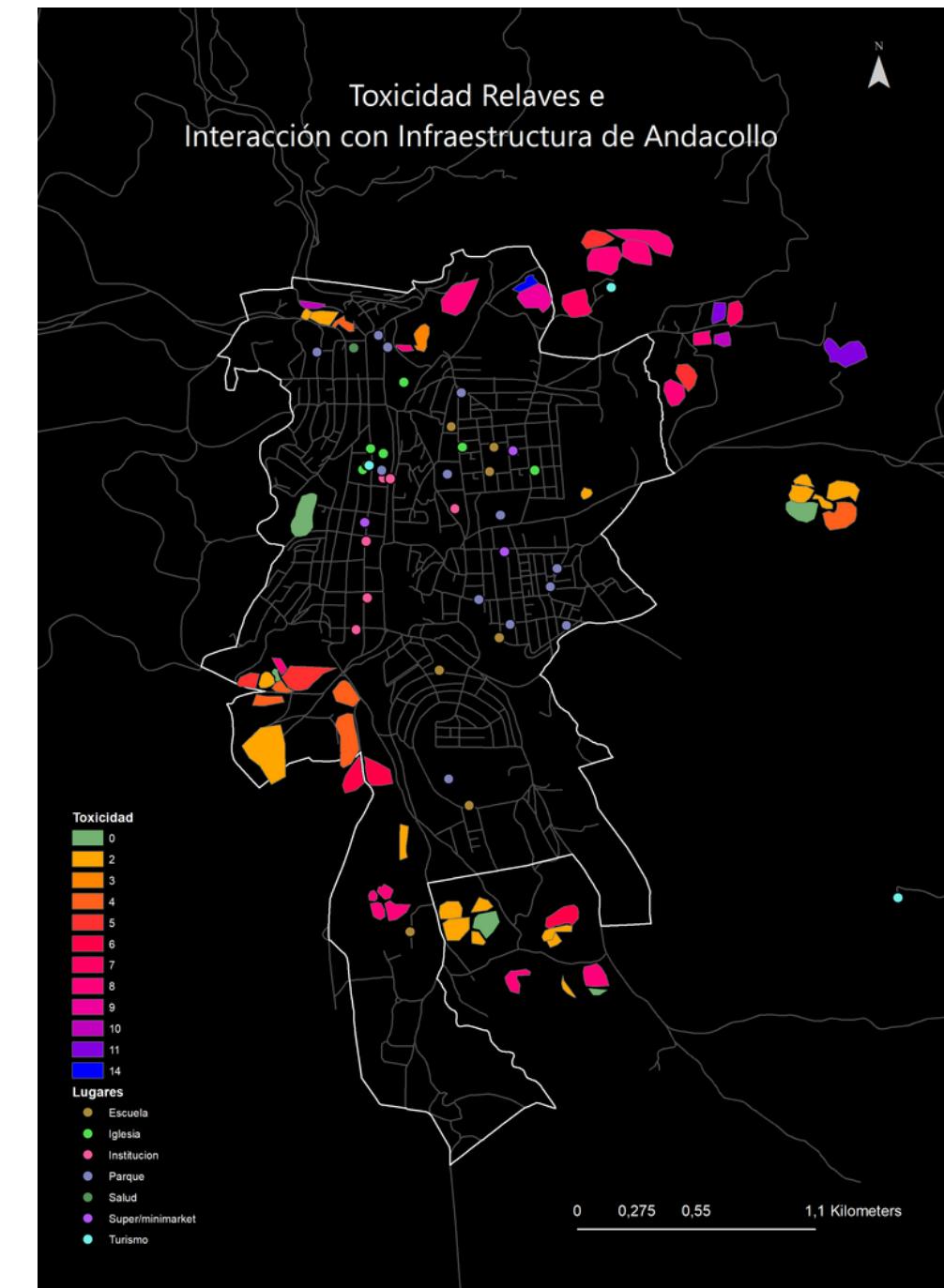


FIG 5. Interacción entre toxicidad presente en los relaves con infraestructura de Andacollo; Elaboración propia

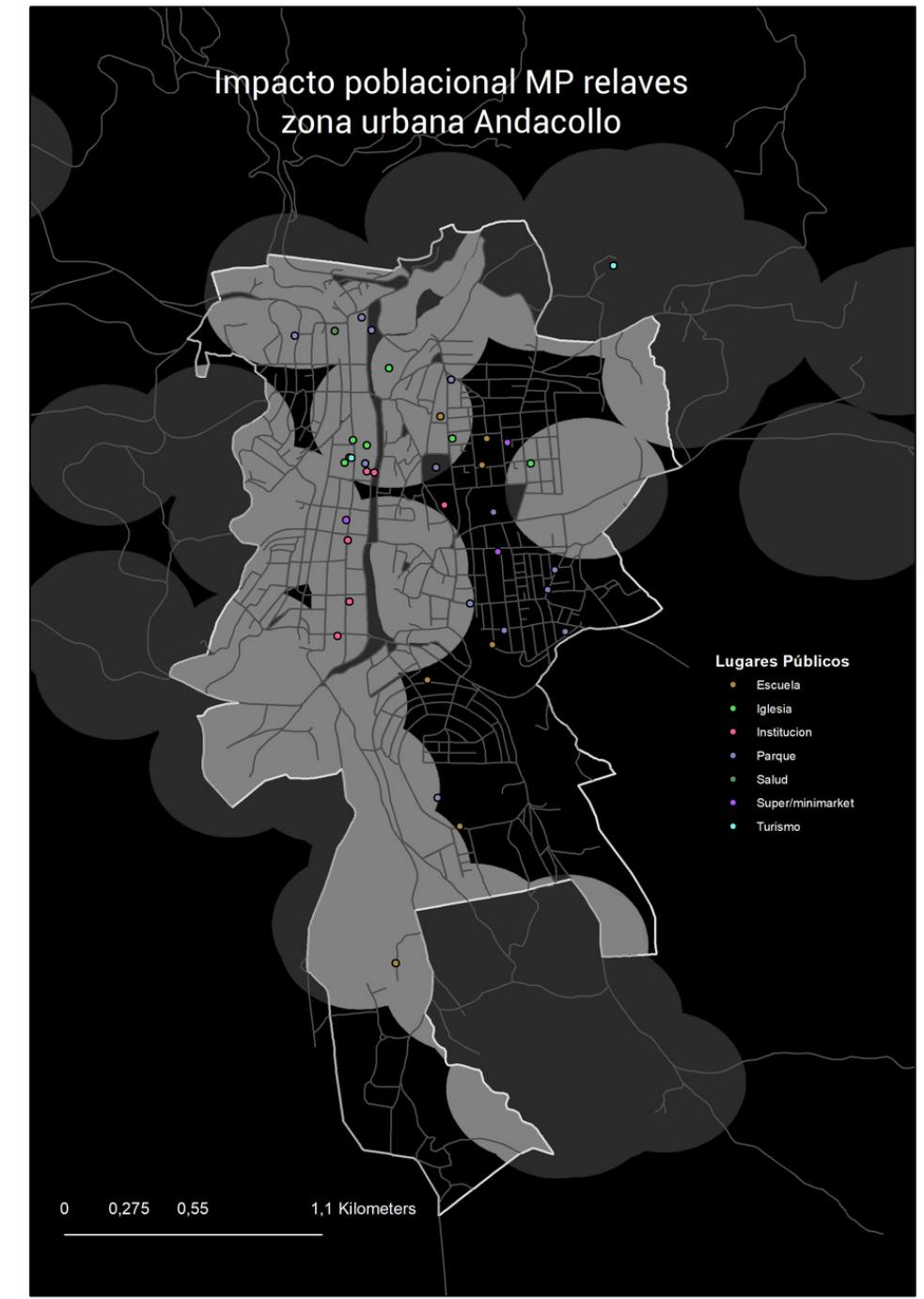


FIG 6. Área afectada por la contaminación producida por el viento en la zona urbana de Andacollo. Elaboración propia



Fuente: Elaboración Propia

**"Ustedes saben que estamos declarados como Zona Saturada desde el año 2009 y tenemos un Plan de Descontaminación que entró en vigencia el 1 de enero de 2015. Pero tenemos empresas mineras que trabajan muy cerca de las viviendas y por lo tanto debieron tomarse las medidas en ese momento para que se asegurara una calidad de vida a la gente de Andacollo"**

Juan Carlos Alfaro, Ex alcande comuna de Andacollo (2015)

<https://www.terram.cl/2017/10/autoridades-de-andacollo-denuncian-contaminacion-y-problemas-de-salud-por-mineras/>



Fuente: Elaboración Propia

Planteamiento del problema

# Contaminación atmosférica

"Una Zona Saturada produce daños en la salud. Lo que no entendemos es por qué aún no hay un estudio que pueda decirnos qué grado de daño está produciendo la polución que hay en Andacollo. También se reciben reclamos de la gente por otros daños como los ruidos molestos en las noches, olores y las molestias que produce en la ciudad el tener una minera tan cerca" - Juan Carlos Alfaro

Más allá de la contaminación de suelo de los relaves, los peligros se incrementan por la cercanía de las minas Teck Y Dayton (cobre y oro respectivamente) que realizan tronaduras que liberan a la atmósfera gases y polvos tóxicos producto de las actividades mineras, siendo los principales grupos de riesgo los adultos mayores y enfermos crónicos que padecen enfermedades como el asma, siendo una disputa entre la municipalidad y las empresas extranjeras por el cuidado y resguardo de la salud andacollina.

<https://www.terram.cl/2020/03/alcalde-de-andacollo-molesto-por-actuar-de-teck-y-sma-en-medio-del-coronavirus/>



# Plan de descontaminación vigente



"Queremos prever que en el futuro no se siga dañando la comuna de Andacollo"-J.C.A.

El Plan fue elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente y entró en vigencia el 02 de enero del 2015, siendo fiscalizado desde 2016 por la superintendencia de Medio Ambiente, conteniendo los siguientes puntos claves:

- La proyección del Plan es disminuir las concentraciones diarias y anuales de material particulado grueso MP10 generado principalmente por la actividad minera.
- Para ello se contempla lograr la reducción de 1.215 toneladas por año de MP10 en un plazo de 5 años
- Andacollo es una de las primeras comunas del país donde se pusieron en marcha los 14 planes que el Gobierno ha comprometido para el periodo 2014-2018.



FIG 7. "Objetivos Específicos que se sustentan en el compromiso por garantizar la sostenibilidad del plan desde tres ejes: Seguridad de la Población (Dimensión Social), 2) Minería Compatible con el Medio Ambiente (Dimensión Ambiental), y 3) Economía Circular e Innovación (Dimensión Económica)"

<https://www.terram.cl/2017/10/autoridades-de-andacollo-denuncian-contaminacion-y-problemas-de-salud-por-mineras/>

[https://www.minmineria.cl/media/2021/05/Plan\\_Nacional\\_de\\_Despositos\\_de\\_Relaves\\_para\\_una\\_Mineria\\_Sostenible\\_2021.pdf](https://www.minmineria.cl/media/2021/05/Plan_Nacional_de_Despositos_de_Relaves_para_una_Mineria_Sostenible_2021.pdf)

# Planteamiento del problema

## Tesis

La comuna de Andacollo se ubica en la Región de Coquimbo a 1.000 metros sobre el nivel del mar (inserta en un valle natural) que sumado a su desarrollo histórico y la alta presencia de relaves, se incrementa la peligrosidad a la salud respiratoria de sus habitantes.

## Problema

Los principales riesgos según el Servicio Nacional de Geología y Minería, tanto de los relaves activos, así como también, de los relaves clasificados como pasivos ambientales mineros son : 1) La estabilidad física, y 2) La contaminación de suelos por metales pesados y del aire por medio del levantamiento y arrastre de material particulado por acción del viento

## Foco

Evidenciar la densidad de relaves en la zona urbana de Andacollo respecto al impacto de la toxicidad de estos mismos y revelar la situación geográfica desfavorable en la que se encuentra inserta la comuna para sus habitantes respecto a la cercanía de una mina activa y pasivos mineros abandonados.

Diagrama de síntesis

# Flujo Metodológico

Para realizar el levantamiento de información de los relaves se analizó la pendiente de la comuna de Andacollo (inclinación), además de la densidad de población en conjunto con la densidad de relaves existente.



Una vez que tengamos estos datos los comparamos con las zonas urbanas para analizar una posible correlación, mientras que la densidad de población la comparamos con la densidad de relaves.

Recolección de datos sobre cantidad de relaves y personas presentes en Andacollo.



Se analizo la toxicidad que se encuentra presentes en los relaves.



Mapas



Mediante un Kernel density se obtuvo una "onda expansiva" de los datos que necesitamos.



Al hacer un reclassify obtenemos datos que se pueden comparar entre ellos, luego se calculan mediante una suma.



Cantidad de población que se ve afectada por la densidad de los relaves y su toxicidad.

Impacto ambiental de relaves y contaminación del aire

# Cartografía de variables

PROCESO 1

## 1-DENSIDAD POBLACIONAL

Variable a analizar fue la densidad de población clasificada en 3 parametros

## 2-DENSIDAD RELAVES

Variable a analizar fue la densidad de relaves clasificada en 3 parametros

## RESULTADO

En base a estas dos variables se igualo a 0 para así obtener las relaciones que afectaban a la población

PROCESO 2

## PENDIENTE TOPOLOGICA

Variable a analizar fue la inclinación existente en la comuna

## ÁREAS PÚBLICAS

Variable a analizar fue la densidad de áreas públicas existentes en la comuna

## RESULTADO

En base a estas dos variables se igualo a 0 y 1 cada variable respectivamente para así obtener las correlaciones posiblemente existentes.

Flujo Metodológico

# Lugares Pùblicos en Zonas con Menos Inclinación

Primero se analiza las pendientes que se encuentran en Andacollo (Fig 4) y la localización con la respectiva distancias de influencia de las locaciones pùblicas (Fig 6). Ambas se reclasifican en menos categorías para el análisis. Se suman dos condiciones: la cercanía de 200 (naranja de la Fig 7) metros a un lugar pùblico más estar en la menor inclinación (verde de la fig. 5). Dáandonos el resultado de la figura 8. En donde el área de coincidencia es de 1137656,25m<sup>2</sup> (=1) de los 4149531,25m<sup>2</sup>. Representando un 27,4% del área urbana.

De esto podemos concluir que la mayor parte de las zonas influenciadas por los lugares pùblicos se encuentran en zonas con baja inclinación. La zona urbana de Andacollo se encuentra "Entre montañas", por lo que cuando la mina trabaja, las nubes de tierra se elevan y llevan material particulado hacia la ciudad.

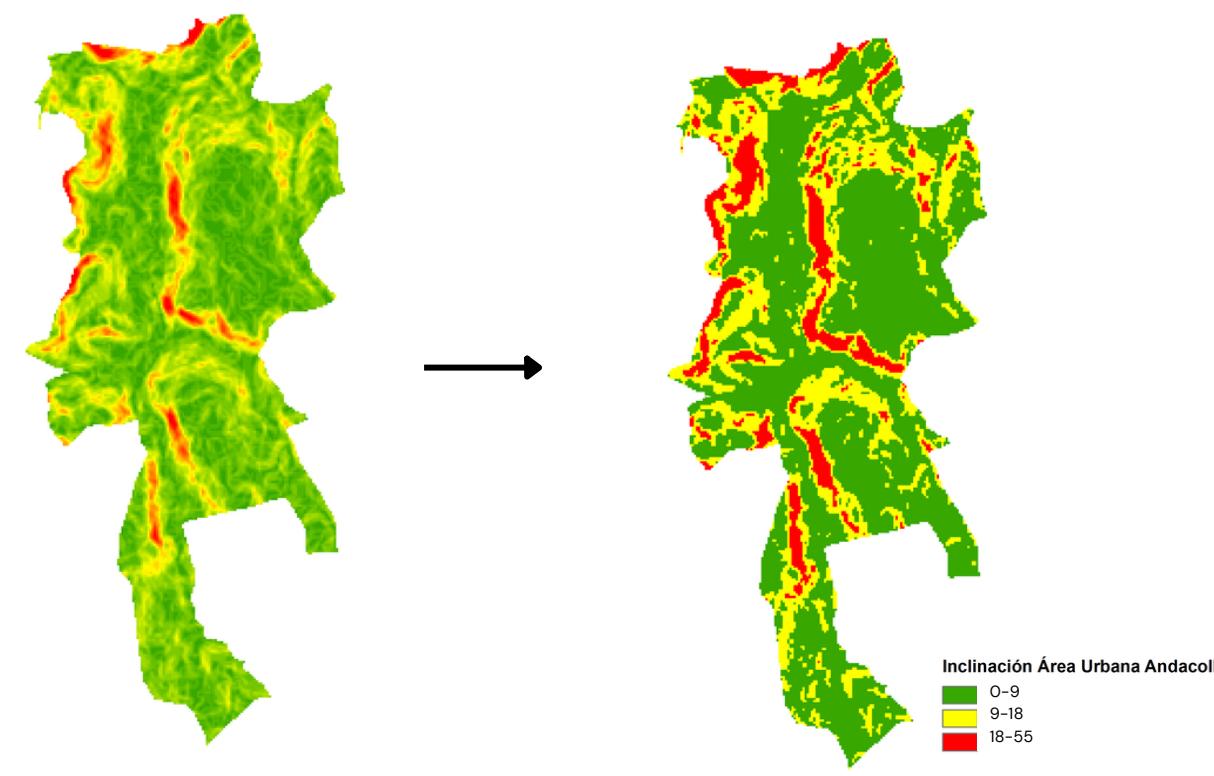


FIG 8. Slope Zona Urbana Andacollo

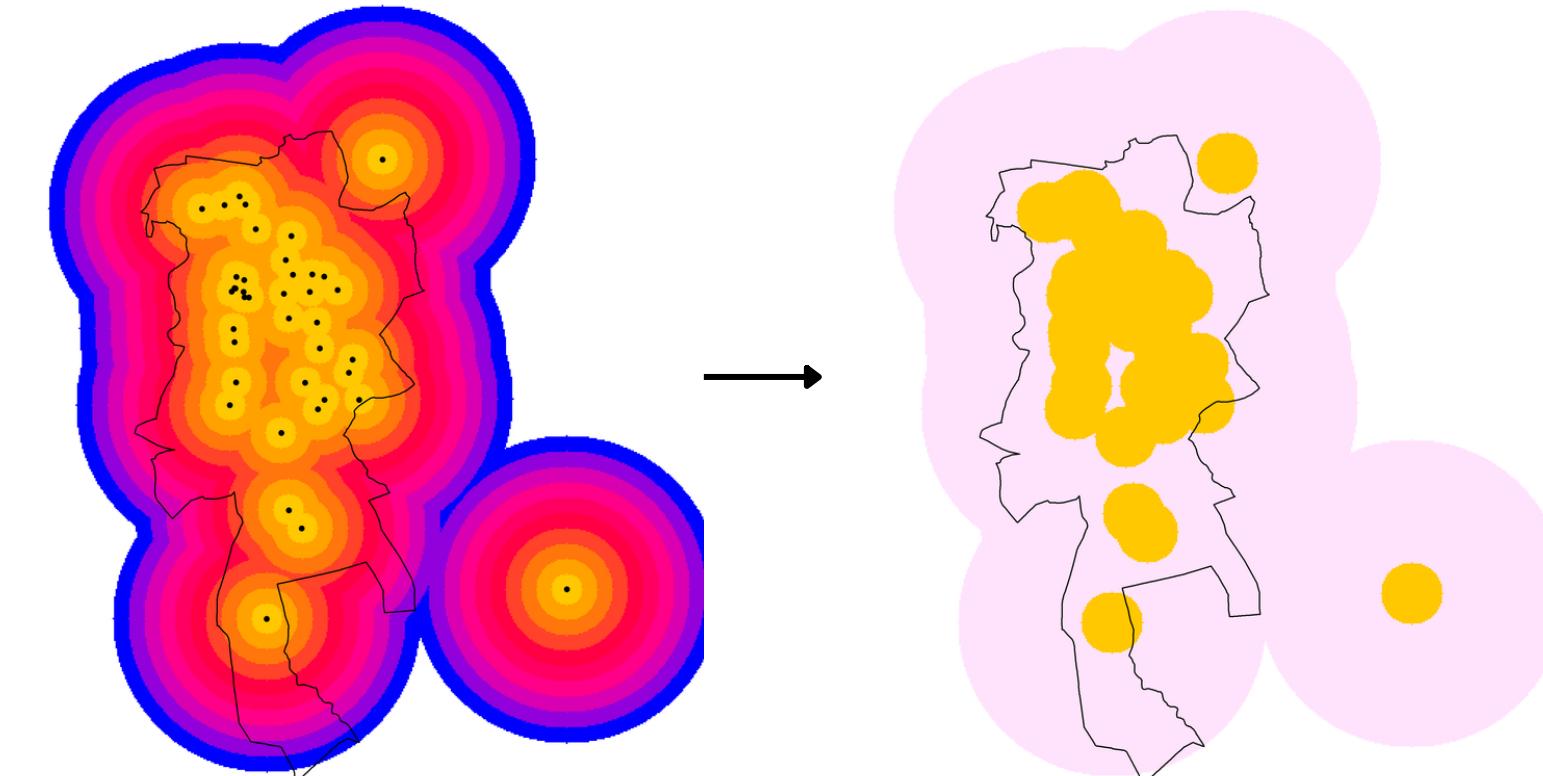


FIG 9. Slope Reclasificado en 3 Categorías

FIG 10. Distancia cada 100m sobre Lugares Pùblicos en Andacollo

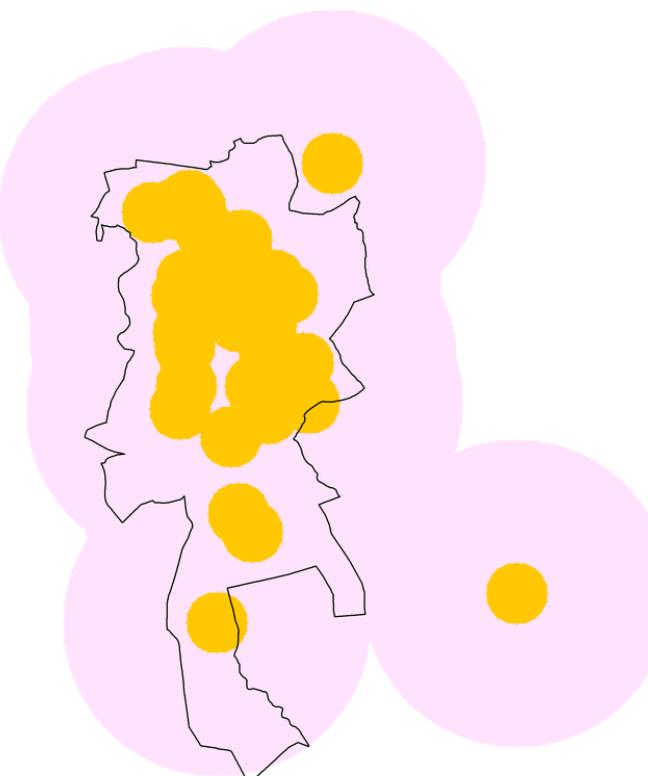
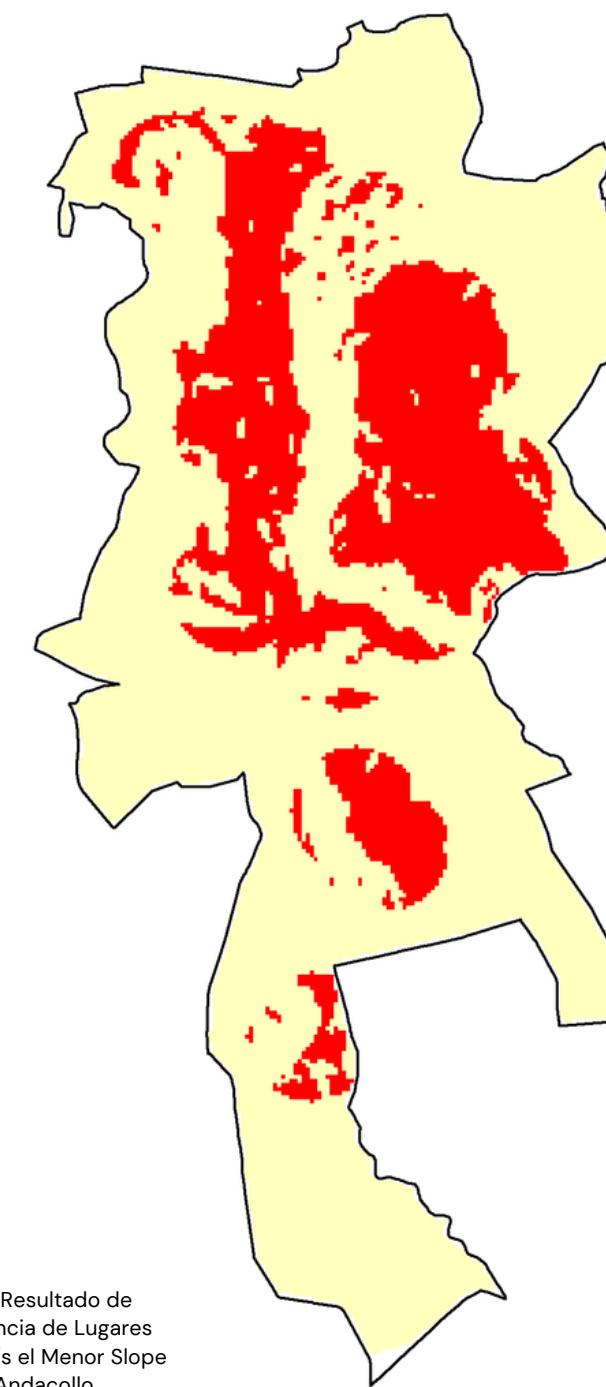


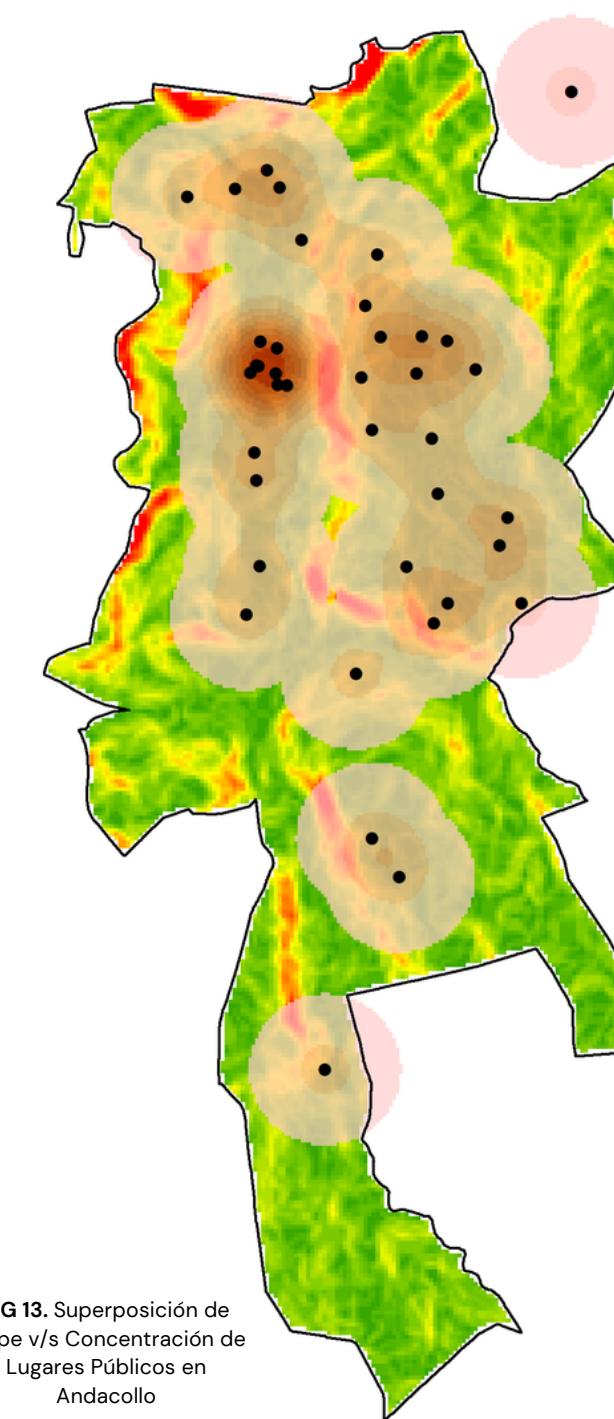
FIG 11. Distancia de 200 metros sobre Lugares Pùblicos

# Resultados



**Resultados**

Valor	Descripción
0	Áreas sin coincidencia
1	Áreas donde los lugares públicos están en pendientes más bajas



A la vez, el viento que sopla en la dirección suroeste hacia noreste, moviendo el polvillo de los relaves hacia las personas. El hecho de que las localizaciones públicas estén rodeadas de pendientes implica que **Andacollo está atrapado en un "agujero"**. Por lo que por hipótesis, el material se quede con mayor facilidad atrapado.



Fuente: Municipalidad de Andacollo (2021)

# Resultados

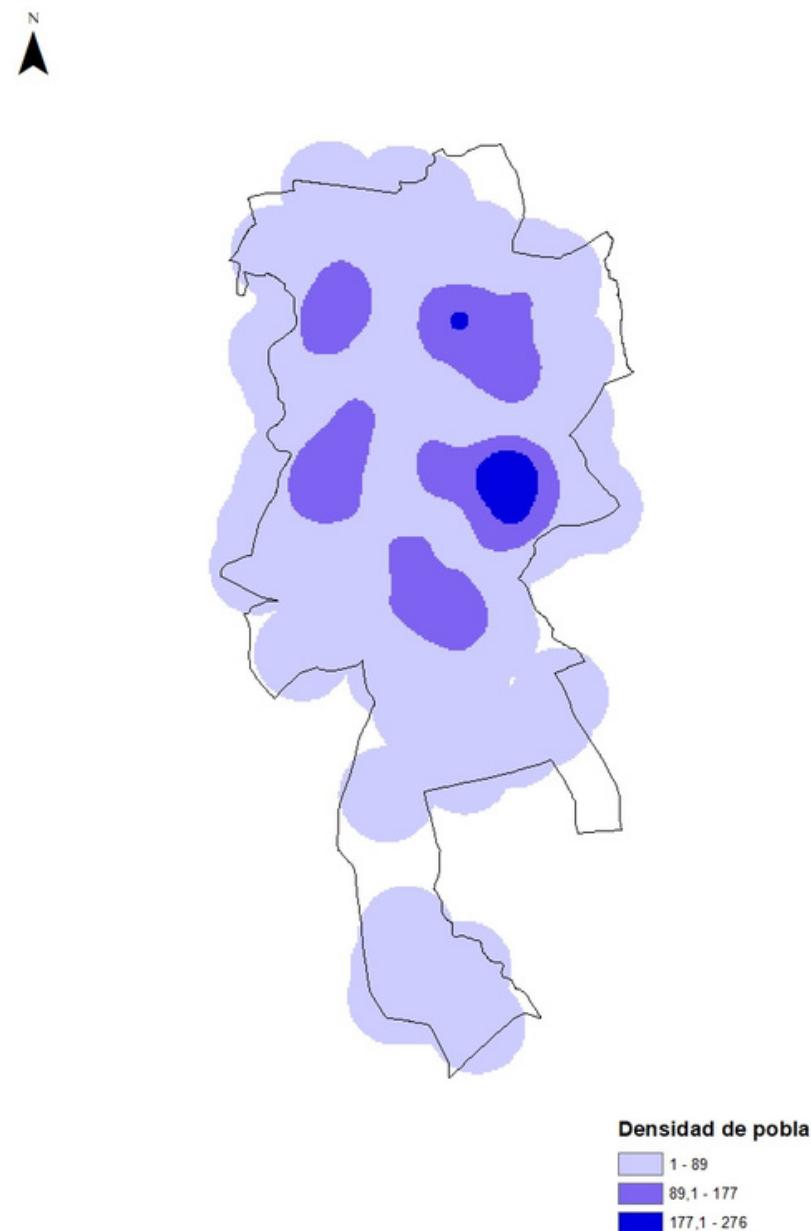


FIG 14. Distribución de la población presente en la ciudad de Andacollo.

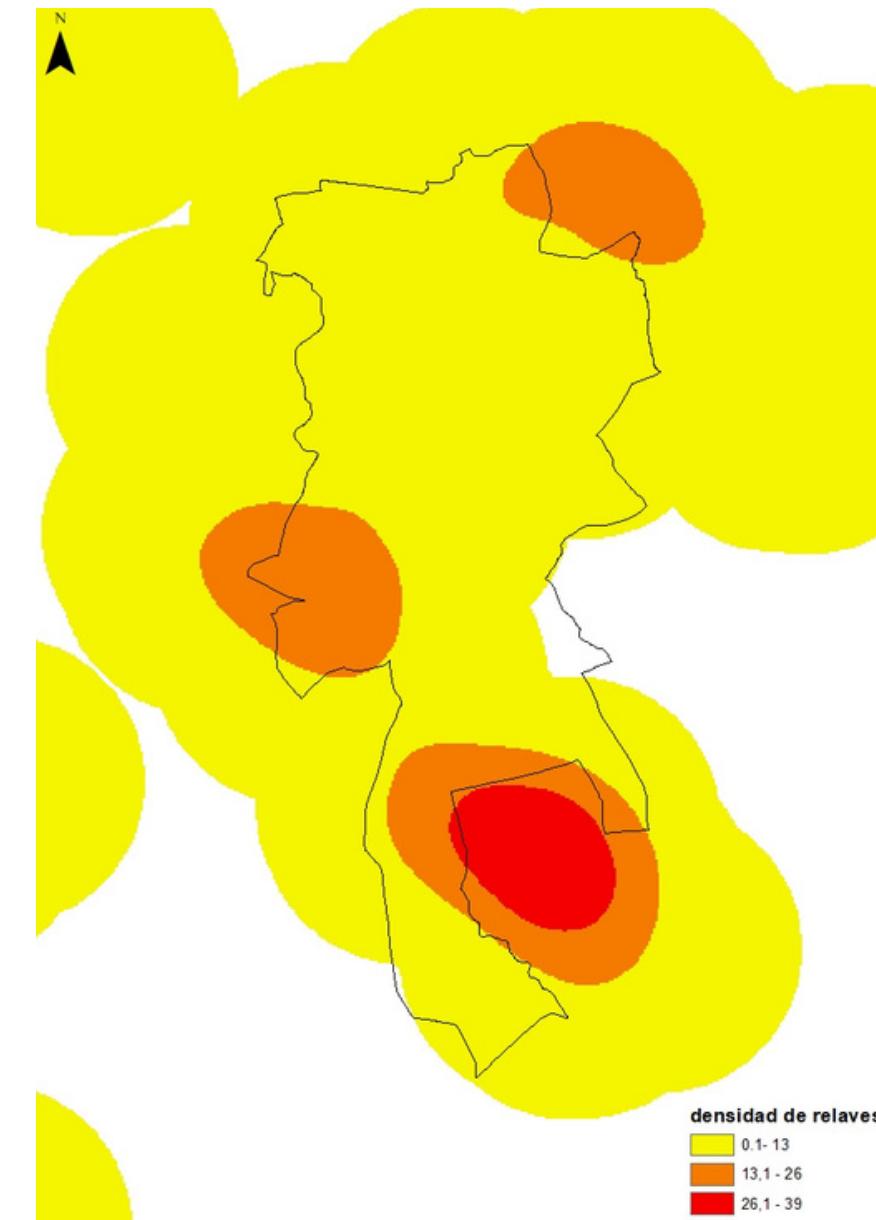


FIG 15. Densidad de los relaves con respecto a la zona urbana de Andacollo.

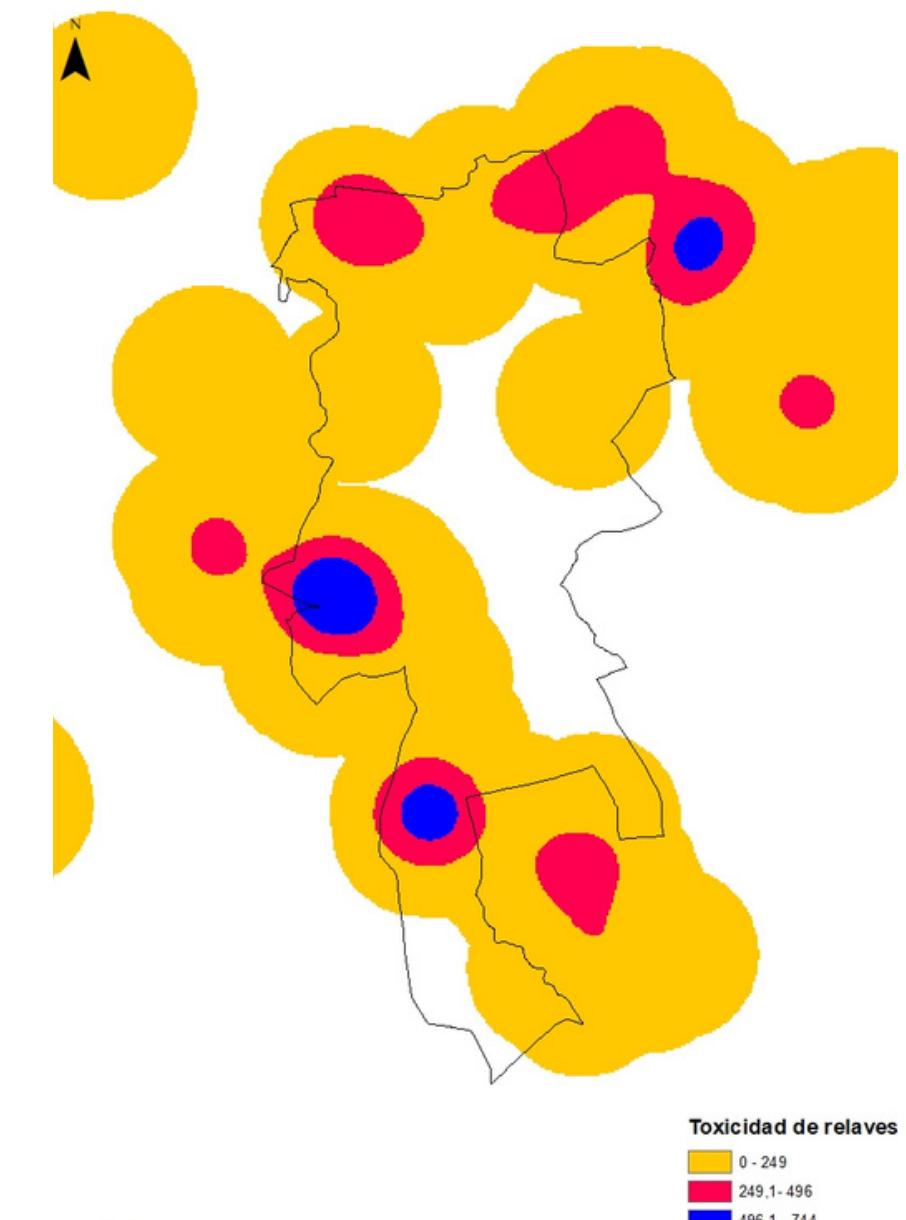


FIG 16. Toxicidad presentes en los relaves distribuidos en Andacollo.

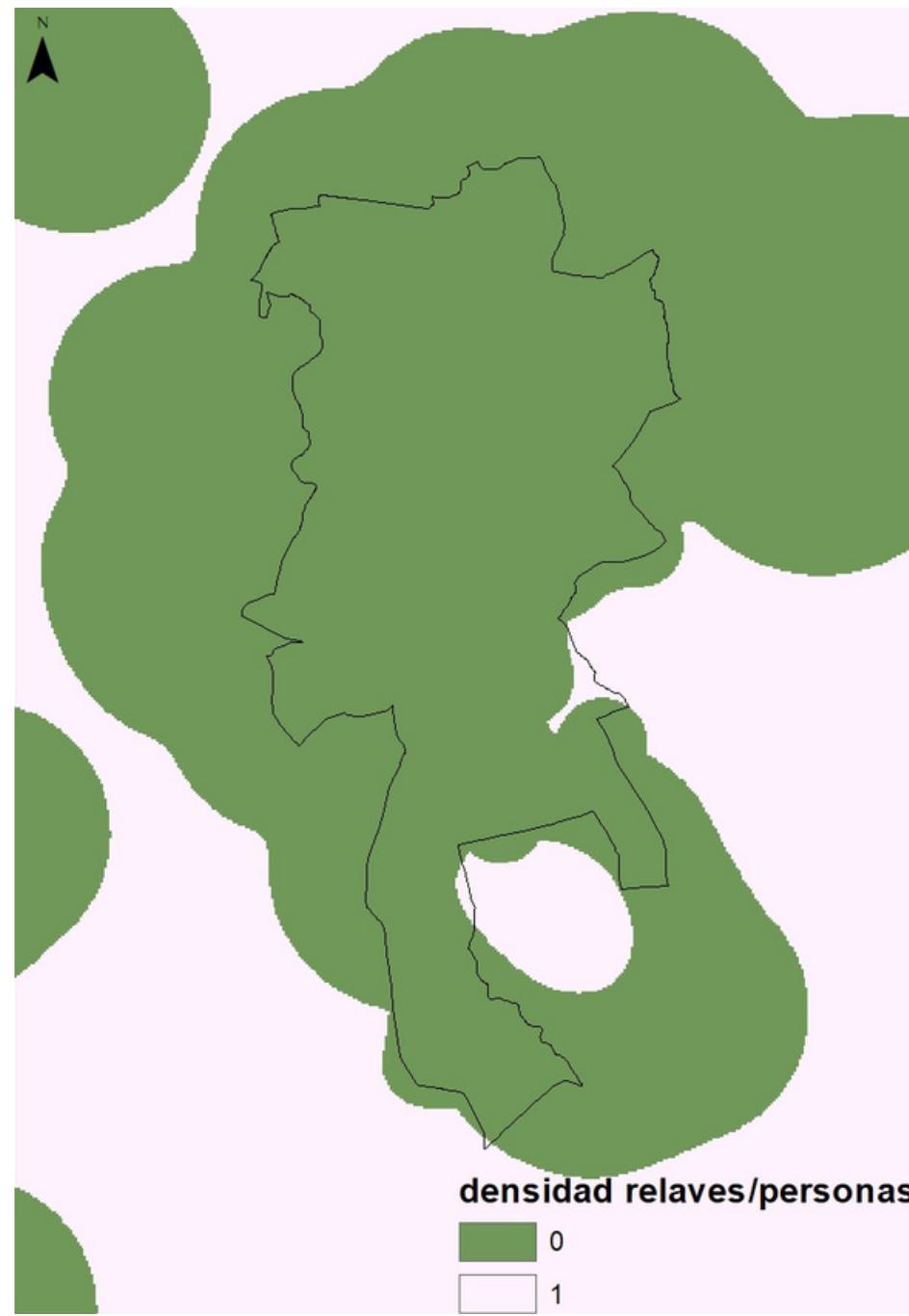
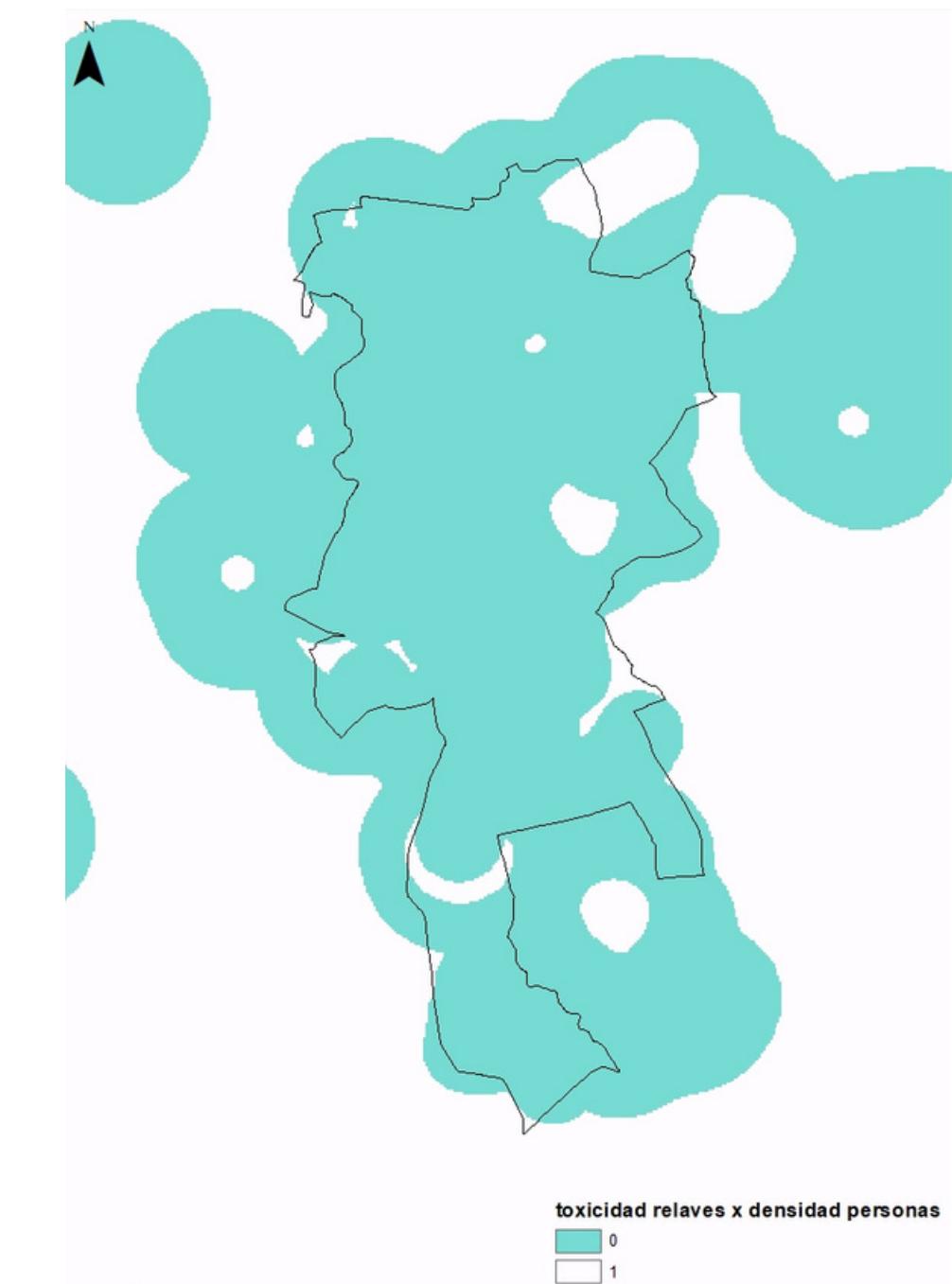


FIG 17. Interacción entre cantidad de relaves y personas. Elaboración propia

Mapa en el cual se pueden encontrar la interacción entre las personas y la cantidad de relaves. En el 1 significa que ahí es donde más se centra la población y convive con la mayor parte de densidad de relaves. El 0 significa que en esa zona no se encuentra gran cantidad de población pero si se encuentra la zona con mayor densidad de relaves.

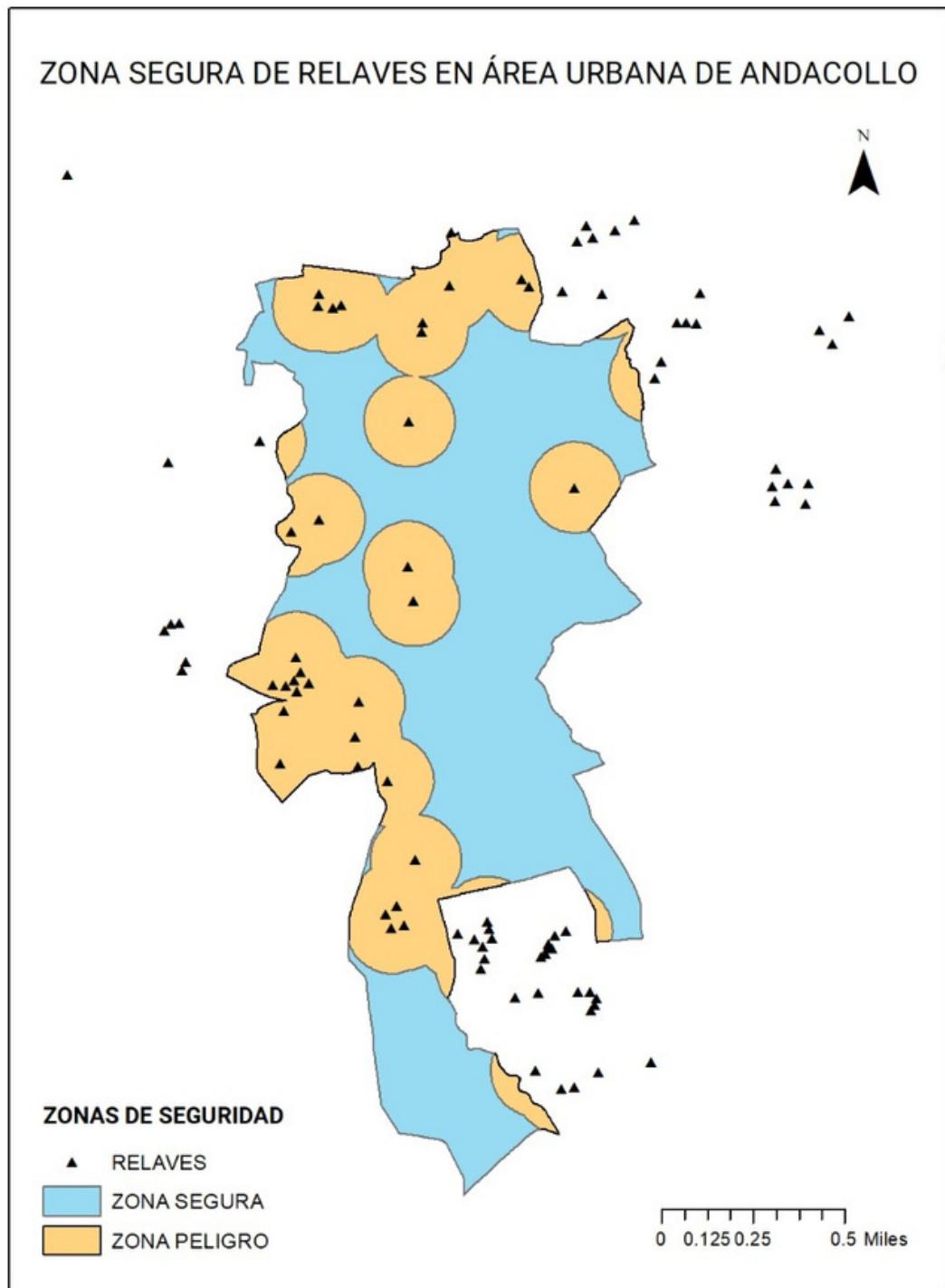


Mapa en el cual se pueden encontrar la interacción entre las personas y la toxicidad que presentan los relaves, ya que no necesariamente donde hay mayor densidad de estos existe una mayor toxicidad. 1 significa que en esa zona hay alta toxicidad y 0 en los lugares donde se presenta una toxicidad media alta

FIG 18. Interacción entre la población de Andacollo y la toxicidad presente en los relaves. Elaboración Propia

Área de influencia de relaves v/s Área de influencia de zonas públicas

# Automatización



Ahora bien, podemos automatizar la recolección de datos para agilizar los procedimientos a la hora de elaborar un mapa. Tomando en cuenta el área de influencia (radio de 100 m.) tanto de relaves como de lugares públicos, podemos calcular las intersecciones entre ambas áreas con el fin de determinar aquellas zonas dentro del límite urbano que sean seguras y aquellas que no lo son.

La importancia de este código, es la posibilidad de utilizarlo en futuras investigaciones en otras localidades. Ya que, como se ha visto anteriormente, hay grandes concentraciones de relaves en el norte de Chile. Por lo que podemos agilizar el procedimiento del análisis del área con este código. En este caso, para poder hacerlo funcionar, necesitaríamos de un shapefile del área a estudiar, un archivo tipo excel con los lugares de interés locales y todos los puntos de las localizaciones de los relaves en Chile que ya se tienen gracias a Sernageomin.

FIG 19. Resultado de la Automatización  
gracias al Modelo, utilizado en  
Andacollo.

Diagrama de flujo de automatización

# Procedimiento

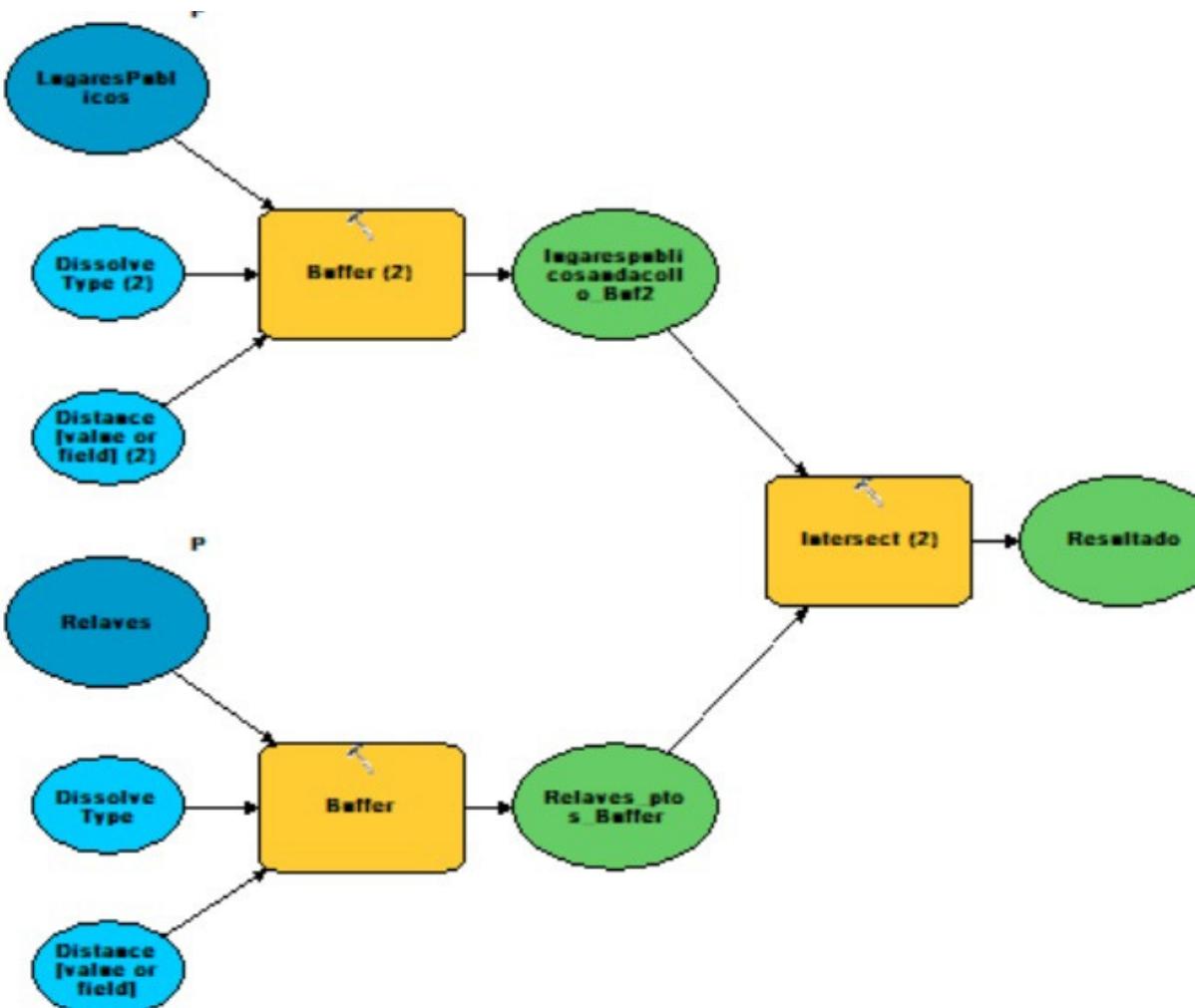


FIG 20. Diagrama de flujo de automatización

# Análisis y Conclusiones

1

## Zona contaminada

El análisis geográfico evidencia la problemática de cuenca que encierra los gases tóxicos de la actividad minera y su riesgo para la situación histórica de la comuna

2

## Relación relaves y población

Se revela que la mayor cantidad de población se encuentra relativamente cercana a un relave o más y se expone continuamente a riesgos de su salud al vivir rodeados por tóxicos no identificados por ellos mismos.

3

## Estrategia de diseño

Se puede utilizar la oportunidad de crear áreas verdes de zonificación que aporten al bienestar de la población y recuperen las zonas negativas que producen actualmente los relaves (uso activo y positivo en el futuro para la comunidad)

4

## Automatización de un Gráfico

En varias comunas de Chile, al igual que Andacollo, los habitantes sufren la convivencia con los relaves. Por lo que se ha automatizado uno de los procesos para obtener rápidos resultados para futuros estudios de otras ciudades o pueblos

\*Recomendaciones: Se podrían incluir información (base de datos) respectiva a la población flotante de la comuna, la evolución demográfica y el envejecimiento de la población por manzana para identificar con mayor precisión el impacto y área de influencia de los relaves.

# Muchas gracias!

por Alejandro Cifuentes, Martín Seguel, Trinidad Yañez y Martín Zúñiga