

Análisis Espacio-Temporal de la Actividad Minera y las Infecciones Respiratorias Agudas en Arequipa (2021–2023)

Y. Apellido*, A. Apellido*, M. Apellido* y E. Apellido*

*Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA)

Arequipa, Perú

Email: nombre.apellido@unsa.edu.pe

Resumen—Este trabajo presenta un análisis espacio-temporal de la posible relación entre la actividad minera y las infecciones respiratorias agudas (IRA) en la región Arequipa durante el periodo 2021–2023. Se integran datos heterogéneos de producción mensual de unidades mineras y registros epidemiológicos semanales de establecimientos de salud, aplicando un *pipeline* de ingeniería de datos para su limpieza, normalización y sincronización temporal. Los resultados muestran que la estacionalidad climática (friaje invernal) explica la mayor parte de la variabilidad en los picos de IRA, mientras que la actividad minera mantiene una asociación indirecta y no lineal, reflejada en una incidencia basal ligeramente mayor en distritos con presencia extractiva, pero sin evidencias de incrementos agudos directamente asociados a picos de producción.

Index Terms—Minería, infecciones respiratorias agudas, análisis espacio-temporal, ingeniería de datos, salud pública, Arequipa.

I. INTRODUCCIÓN

La región Arequipa combina una alta concentración de operaciones mineras con una carga sostenida de enfermedades respiratorias agudas (IRA), especialmente en niños y adultos mayores. Esta coexistencia ha generado percepciones sociales de que el polvo en suspensión y las emisiones asociadas a la minería podrían incrementar la incidencia de patologías respiratorias en las poblaciones cercanas a las unidades extractivas.

Sin embargo, la evidencia cuantitativa suele estar fragmentada: los datos de producción minera, los registros epidemiológicos y las series climáticas se gestionan en instituciones y formatos distintos, dificultando el análisis conjunto. En este contexto, la integración sistemática de dichas fuentes mediante enfoques de ingeniería de datos permite evaluar si existe una correlación consistente entre la actividad minera y las IRA, una vez controlados los efectos de estacionalidad y tamaño poblacional.

El objetivo general de este estudio es evaluar la relación espacio-temporal entre producción minera y tasas de IRA en distritos con y sin actividad extractiva de la región Arequipa durante el periodo 2021–2023, utilizando métricas normalizadas por población y comparaciones de tendencia.

II. TRABAJOS RELACIONADOS Y CONTEXTO

Diversos estudios en América Latina han documentado la relación entre calidad del aire y salud respiratoria, enfatizando el papel de materiales particulados finos (PM_{10} , $PM_{2.5}$) y gases contaminantes como factores de riesgo para bronquitis, asma e infecciones respiratorias agudas. No obstante, los análisis que vinculan de forma directa la producción minera mensual con indicadores epidemiológicos siguen siendo limitados y, en general, se restringen a estudios de caso locales.

En el contexto peruano, la información oficial de producción metálica es publicada por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), mientras que los registros de IRA se consolidan en los boletines de vigilancia epidemiológica de las Gerencias Regionales de Salud. Para Arequipa, GERESA publica reportes periódicos de casos por establecimiento y distrito.

Este trabajo se sitúa en la intersección de ambas fuentes: por un lado, la producción minera por unidad y, por otro, los registros de IRA por distrito y semana epidemiológica. El análisis se centra en comparar el comportamiento de las tasas de IRA en distritos con presencia minera frente a distritos sin actividad extractiva relevante, con el fin de identificar diferencias en la línea base y en la respuesta estacional.

III. METODOLOGÍA

III-A. Conjunto de datos

Se recopilieron series de producción minera mensual para unidades ubicadas en la región Arequipa entre 2021 y 2023, a partir de reportes oficiales del MINEM que detallan volúmenes producidos por metal y por unidad minera. Paralelamente, se obtuvieron registros semanales de casos de IRA por distrito y establecimiento de salud, publicados por GERESA Arequipa en sus boletines de vigilancia epidemiológica.

Con el fin de reducir sesgos poblacionales, se estimó la tasa de incidencia de IRA por cada 10 000 habitantes, utilizando proyecciones poblacionales oficiales por distrito. De esta manera, los distritos más poblados no dominan de forma artificial los resultados agregados y es posible comparar curvas de incidencia entre distritos de distinto tamaño.

III-B. Pipeline de ingeniería de datos

Se implementó un *pipeline* ETL en Python con las siguientes etapas principales:

- **Limpieza y normalización geográfica:** estandarización de nombres de distritos, corrección de variantes ortográficas y asignación de códigos únicos para garantizar la unión consistente entre fuentes de datos.
- **Sincronización temporal:** conversión de semanas epidemiológicas a meses calendario, y agregación de casos semanales de IRA a nivel mensual por distrito.
- **Cálculo de tasas normalizadas:** estimación de la tasa de incidencia de IRA por 10 000 habitantes, combinando casos mensuales con proyecciones poblacionales distritales.
- **Manejo de valores faltantes:** aplicación de reglas estrictas para evitar la subestimación de tasas en periodos sin reporte, distinguiendo entre ausencia de casos y ausencia de datos.

El resultado de este proceso es un cubo de datos en el que cada observación combina: distrito, condición minero/no minero, periodo mensual, tasa de IRA por 10 000 habitantes y volumen de producción minera (cuando aplica).

III-C. Estrategia de análisis

La estrategia de análisis se centró en:

- Comparar la tendencia promedio de la tasa de IRA en distritos mineros frente a no mineros.
- Identificar patrones estacionales y meses con picos de incidencia.
- Evaluar correlaciones simples entre producción minera mensual y tasas de IRA en distritos con actividad extractiva.

No se persigue construir un modelo causal completo, sino aportar evidencia exploratoria basada en series temporales normalizadas.

IV. RESULTADOS

El análisis descriptivo mostró que tanto los distritos mineros como los no mineros presentan una marcada estacionalidad: las tasas de IRA se incrementan de forma consistente entre los meses de mayo y julio, coincidiendo con el periodo de friaje en el sur del Perú.

Al comparar la curva promedio de incidencia en distritos mineros frente a no mineros, se observa una línea base ligeramente más alta en los primeros, pero sin picos anómalos asociados a aumentos puntuales en la producción minera. Los coeficientes de correlación simples entre producción mensual y tasas de IRA resultan bajos y estadísticamente no significativos en la mayoría de escenarios evaluados.

La Figura 1 ilustra la sincronía de las curvas: ambos grupos de distritos presentan picos de incidencia en los mismos periodos, lo que refuerza la hipótesis de un fuerte componente estacional asociado a condiciones climáticas y no exclusivamente a la actividad productiva minera.

07_comparative_trend.png

Figura 1. Tendencia comparativa de tasas de IRA en distritos mineros y no mineros de Arequipa (2021–2023).

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el factor dominante en los picos de IRA en Arequipa es la estacionalidad climática, particularmente el friaje, más que las variaciones de corto plazo en la producción minera. La incidencia basal algo más elevada en distritos con presencia extractiva podría estar vinculada a exposiciones crónicas a partículas en suspensión, condiciones laborales, patrones de movilidad o factores socioeconómicos, pero no se evidencia una relación lineal directa e inmediata con los cambios mensuales de producción.

Para mejorar la comprensión del impacto de la minería sobre la salud respiratoria, se recomienda que trabajos futuros incorporen mediciones de calidad de aire (por ejemplo, PM₁₀ y PM_{2.5}) mediante sensores en campo, así como modelos espacio-temporales más sofisticados que integren trayectorias de viento, topografía y distribución de población vulnerable.

En términos de política pública, los hallazgos respaldan el fortalecimiento de estrategias de prevención estacional (campañas de vacunación, mejora de infraestructura en centros de salud y difusión de medidas de autocuidado durante el friaje) sin descuidar la vigilancia ambiental en zonas mineras para evaluar posibles efectos de largo plazo sobre la salud respiratoria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y a GERESA Arequipa por la disponibilidad de datos oficiales que hacen posible este tipo de análisis integrado orientado a la toma de decisiones en salud pública.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Energía y Minas (MINEM), “Boletín Estadístico Minero”, 2021–2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/minem>
- [2] GERESA Arequipa, “Boletines de vigilancia epidemiológica de IRA”, 2021–2023.
- [3] Organización Mundial de la Salud, “Air Quality Guidelines”, OMS, 2021.