

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas**

Contaminación minera en el Ecuador: implicaciones sobre la salud  
neonatal y su distribución espacial

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Economista**

Presentado por:

Anthony Jair Pincay Lino

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

# DEDICATORIA

A mi familia y seres queridos, por estar siempre presentes.

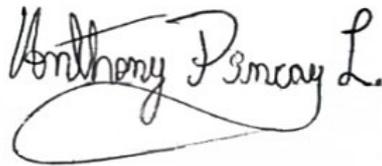
## **AGRADECIMIENTOS**

“Si quieres ir rápido, camina solo; si quieres llegar lejos, ve acompañado” – Proverbio Africano.

Esta filosofía ha sido determinante en el desarrollo de mi carrera universitaria. Quisiera agradecer a mi tutor, el economista Bernard Moscoso y a mi profesor de materia integradora, el economista Juan Campuzano por su soporte y dirección durante el desarrollo de este trabajo.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Anthony Jair Pincay Lino* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in black ink, reading "Anthony Pincay L." with a large, sweeping flourish underneath.

---

Anthony Jair Pincay Lino

# EVALUADORES

**Campuzano Sotomayor Juan Carlos**

PROFESOR DE LA MATERIA

**Moscoso Miranda Henry Bernard**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Los efectos de la contaminación minera implican la alteración de los ecosistemas, la migración interna de grupos humanos, la disminución de la productividad agrícola e incluso el incremento de la morbilidad o mortalidad infantil. Este documento aborda estos efectos sobre la salud neonatal desde el análisis de la natalidad utilizando fundamentalmente sistemas de información geográfica explotando los puntos de contaminación minera del Programa de Reparación Ambiental y Social del Ministerio del Ambiente para el período 2010 – 2018, esta información es unificada con el registro de nacidos vivos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Se estudió la influencia sobre la tasa de natalidad y descriptores de la salud neonatal (peso, semanas de gestación y vitalidad al minuto de vida) bajo diversos escenarios considerando la dinámica espacio temporal de los puntos de contaminación minera. Las estimaciones sugieren que la relación respecto a las variables de interés es particularmente negativa destacando que limitar la muestra a vecinos administrativos atenúa ligeramente los resultados. La tasa de natalidad disminuye hasta en tres nacimientos cada 1000 habitantes, efecto asociado con los déficits sobre los parámetros de la salud neonatal, sugiriendo la necesidad de ofrecer intervenciones neonatales como parte de estrategias para la supervivencia infantil.

**Palabras Clave:** contaminación minera, tasa de natalidad, salud neonatal, análisis espacial

## **ABSTRACT**

*The effects of mining pollution involve the modification of ecosystems, the internal migration of human groups, the decrease in agricultural productivity and even the increase in infant morbidity or mortality. This document addresses these effects on neonatal health from the analysis of the birth rate using superior geographic information systems exploiting the points of mining contamination of the environment and social reparation program of the Ministry of the Environment for the period 2010 – 2018, this information is unified with the registry of live births of the National Institute of Statistics and Censuses. The influence on the birth rate and neonatal health descriptors (weight, weeks of gestation and vitality at minute of life) was studied under various scenarios considering the space-time dynamics of mining contamination points. The predictions show that the relationship with respect to the variables of interest is particularly negative, highlighting that limiting the sample to administrative neighbors slightly attenuates the results. The birth rate decreases by up to three births per 1000 inhabitants, an effect associated with deficits on neonatal health parameters, suggesting the need to offer neonatal emergencies as part of the child survival strategy.*

**Keywords:** *mining pollution, birth rate, neonatal health, spatial analysis*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	5
1.2    Justificación del problema .....	6
1.3    Pregunta de investigación .....	6
1.4    Objetivos.....	6
1.4.1    Objetivo general .....	6
1.4.2    Objetivos específicos .....	7
1.5    Marco teórico .....	7
1.5.1    Tipos de contaminación causada por la minería.....	8
1.5.2    Contaminación ambiental y salud neonatal .....	10
CAPÍTULO 2 .....	12
2.    Metodología .....	12
2.1    Datos sobre contaminación minera .....	12
2.2    Datos sobre la tasa de natalidad .....	14
2.3    Otras características.....	15
2.4    Descripción de las variables .....	16

2.5	Propuesta metodológica .....	16
CAPÍTULO 3 .....		18
3.	Resultados y análisis .....	18
3.1	Robustez de resultados .....	20
3.2	Composición de los hogares .....	21
CAPÍTULO 4 .....		23
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	23
4.1	Conclusiones .....	23
4.2	Recomendaciones .....	24
BIBLIOGRAFÍA.....		25
APÉNDICES .....		30

## ABREVIATURAS

AID	Área de Influencia Directa
All	Área de Influencia Indirecta
APGAR	Apariencia, Pulso, Gesticulación, Actividad y Respiración
ARCERNNR	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables
ARCOM	Agencia de Regulación y Control Minero
BCE	Banco Central del Ecuador
DD	Diferencias en Diferencias
ELAW	Environmental Law Alliance Worldwide
ENAMI	Empresa Nacional Minera
ENEMDU	Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo
IGM	Instituto Geográfico Militar
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
MCO	Mínimos Cuadrados Ordinarios
PIB	Producto Interno Bruto
SIG	Sistemas de Información Geográfica
WHO	World Health Organization

## SIMBOLOGÍA

As	Arsénico
Cu	Cobre
g	Gramo
ha	Hectáreas
Hg	Mercurio
km	Kilómetro
m	metros
Pb	Plomo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Áreas mineras por país.....	2
Figura 3.2 Polígonos y delimitación del estudio.....	20
Figura 3.3 Gráfico de correlación para las características del hogar.....	21
Figura B.4 Concentración de puntos de contaminación minera .....	38
Figura B.5 Gráficos de coeficientes para medidas de robustez .....	39

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 Industrias (% PIB) .....	3
Gráfico B.2 Registros totales de pasivos ambientales por provincias .....	35
Gráfico B.3 Superficie total con presencia de contaminación minera por provincias .	36
Gráfico B.4 Fuentes de contaminación por tipo de mineral extraído .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Estadísticas descriptivas.....	12
Tabla A.2 Efectos de la exposición a contaminación minera en la tasa de natalidad	31
Tabla A.3 Efectos de la contaminación minera en la salud neonatal .....	32
Tabla A.4 Efectos de la contaminación minera en la salud neonatal, aproximación geográfica .....	33
Tabla A.5 Efectos de la contaminación minera en la salud neonatal, umbral de nueve meses .....	34

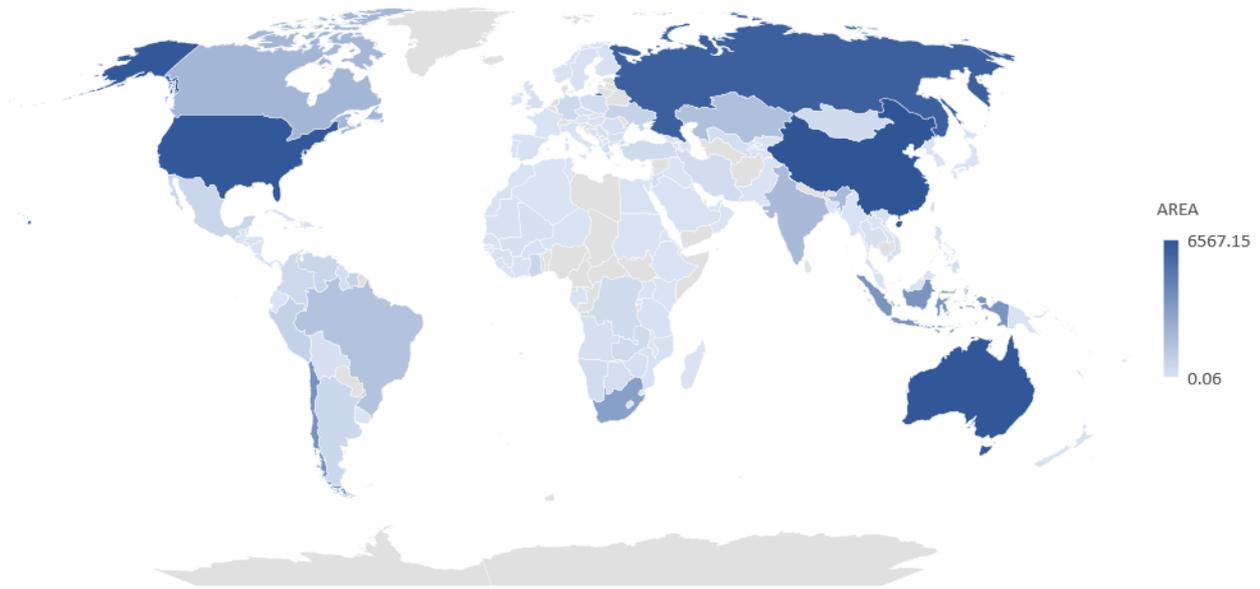
# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación minera representa una externalidad negativa para los ecosistemas por la presencia de pasivos ambientales. La ocurrencia de la contaminación minera causa impactos sobre la corteza terrestre, los recursos hídricos, la flora y fauna de la zona de explotación, o incluso sobre la salud humana. Dichos pasivos ambientales son resultados del tratamiento inadecuado o incompleto del daño ambiental generado por la obra o actividad productiva. Los efectos de la contaminación de este tipo industria extractiva han sido estudiados desde diferentes perspectivas como, las implicaciones macroeconómicas (van der Ploeg, 2011), la salud fetal (Liao et al., 2016), las redes alimentarias (Hogsden y Harding, 2012) o la empleabilidad y cuestiones de género (Kotsadam y Tolonen, 2016). Este documento aborda el tema de la contaminación minera mediante el estudio del efecto de la exposición a estos pasivos ambientales en la tasa de natalidad y salud de los neonatos al momento del nacimiento.

Las labores mineras constituyen una actividad económicamente importante para los procesos de producción industrial en países o regiones típicamente productores (ver Figura 1.1). Sin embargo, sus problemas ambientales suelen estar subrepresentados al no considerar el potencial de la contaminación local por extensión a cuestiones mucho más relevantes como, por ejemplo, su contribución al cambio climático (Rüttinger y Sharma, 2016). La identificación de los impactos ambientales generados por los proyectos mineros se realiza en dos zonas particulares, dentro de la concesión minera denominada como Área de Influencia Directa (AID) y fuera de su límite como Área de Influencia Indirecta (AII) (Empresa Nacional Minera [ENAMI], 2019), esto considera todos los tipos de contaminación minera, por ruido, material particulado, cambios de uso de suelo, fuentes hídricas o impacto en la sociedad. Una AII es determinada por una extensión superficial a convenir particularmente en los estudios de impacto ambiental ex post considerando el factor del tiempo desde la generación del pasivo ambiental.

**Figura 1.1 Áreas mineras por país**



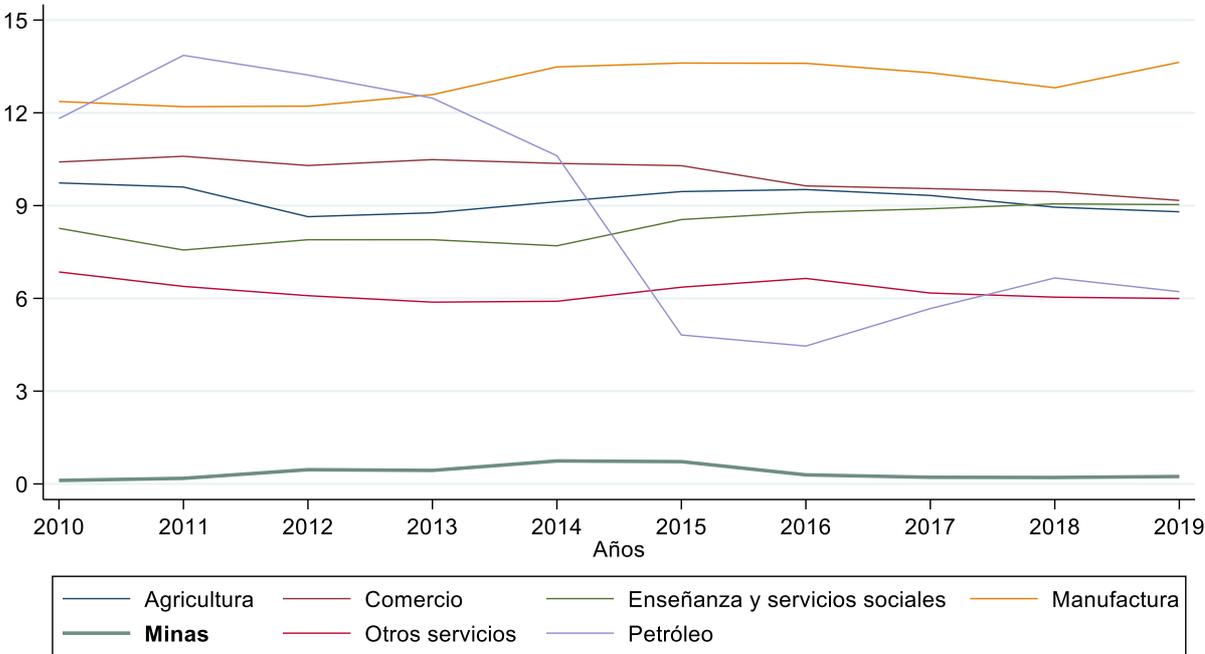
Nota. Estimaciones espacialmente explícitas del área utilizada directamente para la minería de superficie a escala global. Elaboración propia en base a información de (Maus et al., 2020).

La minería consiste en la extracción de minerales diseminados en el suelo, difiriendo en su método de explotación, comprende un conjunto de fases que van desde la búsqueda de indicios de áreas mineralizadas hasta la comercialización del resultado de la actividad minera, en dicho proceso se realizan diversas operaciones como la preparación del terreno y la construcción de espacios para la gestión de los residuos. En el análisis de la situación minera de América Latina por Aguilar-Pesantes et al. (2021), se explica que para el caso particular de Ecuador las gestiones de regulación y control a la industria minera son recientes, con el establecimiento del marco normativo en 1997 o el reconocimiento del proceso técnico de monitoreo en 2014.

En el contexto legal, la ley de minería (2009) reconoce cuatro clases dentro de esta industria: artesanal, pequeña minería, la minería mediana y la minería a gran escala. La misma ley identifica ocho fases de la actividad minera: 1) prospección, 2) exploración, 3) explotación, 4) beneficio, 5) fundición, 6) refinación, 7) comercialización y 8) cierre de mina. La facultad para desarrollar actividades de exploración y explotación es otorgada por el ministerio sectorial mediante una concesión minera.

Históricamente la minería no es de las principales actividades económicas del Ecuador (ver Gráfico 1.1), siendo los tipos de minería artesanal y pequeña minería los que predominan en la industria, aunque en los últimos años se ha priorizado el aumento de los niveles de inversión con el fin de posicionar a Ecuador como un país con potencial minero. De acuerdo con la información del geoportal del catastro minero de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR), a datos de 2021, el porcentaje de territorio nacional dedicado a la actividad minera es del 6.36% (1,804,573.9 hectáreas [ha]) esto para un total de 2001 concesiones mineras inscritas u otorgadas. Las provincias que concentran la mayor proporción de concesiones mineras son: Azuay con el 14.84% (297 concesiones), Zamora Chinchipe 14.34% (287), El Oro 12.59% (252), Morona Santiago 11.39% (228), Guayas 9.15% (183) y Loja 6.50% (130). En términos de territorio concesionado, las provincias con mayor proporción son: Morona Santiago (433,100.7 ha), Zamora Chinchipe (319,086.4 ha), Loja (159,122.1 ha), Azuay (115,657.5 ha), Bolívar (112,166.5 ha) e Imbabura (109,608 ha).

**Gráfico 1.1 Industrias (% PIB)**



Nota. Exportaciones por industria como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB). Elaboración propia en base a información del Banco Central del Ecuador (BCE, 2022)

Los registros de contaminación minera entre los años 2010 y 2018 se concentran mayoritariamente en 4 provincias del país: Esmeraldas con 2274 registros, Zamora Chinchipe con 1397, Azuay (1172) y El Oro (819). Este tipo de pasivo ambiental generalmente está asociado a conflictos sociales con comunidades locales, el Colectivo de Investigación y Acción Psicosocial Ecuador (2017) analizó los impactos colectivos, familiares e individuales y sus connotaciones socio ecológicas, culturales y de género desde una perspectiva integral de reparación, el resultado del estudio contempla la necesidad de revisar los mecanismos jurídicos que ponen en riesgo la tierra, los territorios y la vida de los afectados por concesiones mineras en el Ecuador. Respecto a los tipos de contaminación, Oviedo-Anchundia et al. (2017) encontraron evidencia de contaminación sobre los recursos hídricos en los cantones de Zaruma y Portovelo en la provincia de El Oro, advirtiendo sobre el riesgo potencial a la salud de las personas por exposición a metales pesados no esenciales. La exposición a sustancias tóxicas tiene el potencial de desarrollar enfermedades en las personas, algunos ejemplos son: enfermedades estomacales, de la piel, problemas respiratorios, trastornos intestinales o infecciones vaginales, esto según denuncias de trabajadores mineros de Esmeraldas (Mestanza-Ramón et al., 2021).

La relación entre la contaminación minera y la tasa de natalidad depende del análisis de un conjunto de factores como la movilidad interna o de las condiciones socioeconómicas, de cuán perceptible es el tipo de contaminación o el nivel de afectación a la salud y como la interacción de estas cuestiones condicionan la residencia de las personas afectadas por la contaminación minera. El estudio sobre los territorios indígenas y la minería por Rudel (2018), encuentra que las tasas más altas de natalidad están condicionadas por la propensión a continuar residiendo en la comunidad, siendo esto consistente con sus condiciones socio ecológicas.

Los estudios de morbilidad y mortalidad en poblaciones aledañas a zonas de minería usualmente utilizan como instrumentos las medidas de calidad del aire, los niveles de contaminación del agua o el tipo de uso de suelo, el análisis se realiza a nivel espacial complementado con información sobre los hogares o a nivel de individuos (Ahern et al., 2011; Liao et al., 2016; Van Brusselen et al., 2020). Esto es análogo a la literatura desarrollada sobre la tasa de natalidad, siendo las condicionantes más relevantes para

su análisis, el factor endógeno de la movilidad materna y el efecto asociado a la contaminación minera. En este trabajo se evaluará la relación entre la contaminación minera y la tasa de natalidad como una respuesta a estas interacciones, sus efectos e implicaciones.

### **1.1 Descripción del problema**

La localización de las actividades mineras es determinada por cuestiones geológicas que representan una fuente de exogeneidad, en la fase de prospección minera se identifican las áreas potencialmente mineralizadas. Los pasivos ambientales resultan de un proceso de extracción inadecuado de los recursos minerales dejando consecuencias como: la contaminación del agua, acumulación de escombros o daños al entorno natural. Los riesgos de la contaminación minera radican en su proximidad a comunidades o zonas pobladas, y al impacto negativo sobre los recursos fundamentales para la subsistencia, particularmente los recursos hídricos (Byrne et al., 2012; Cánovas et al., 2012; Currie et al., 2013; dos Santos et al., 2021) y la competencia sobre los recursos naturales con otras actividades productivas como la agricultura (Del Pozo Loayza y Paucarmayta Tacuri, 2015; Kotsadam y Tolonen, 2016). El tiempo de exposición a la contaminación se considera como un mecanismo que motiva la movilidad materna desde las zonas afectadas a lugares sin contaminación minera, y este actúa como un factor endógeno detrás de la disminución de la tasa de natalidad por evitar potenciales afectaciones a la salud neonatal potencialmente en el largo plazo. La recurrencia de estos pasivos ambientales eleva la probabilidad de que el neonato presente al menos un defecto congénito en el nacimiento (Li et al., 2012; Liao et al., 2016), situación en que las limitaciones socioeconómicas serán condicionantes a la respuesta de la población que decidirán sobre su bienestar general.

Para evaluar el efecto de la contaminación minera se establece su relación respecto a la tasa de natalidad y descriptores de la salud neonatal (peso, semanas de gestación y vitalidad al minuto de vida) bajo un conjunto de escenarios que describan su dinámica espacio temporal.

Este trabajo presenta limitaciones derivadas de los cambios institucionales respecto a la competencia de la regulación y control de la industria minera, correspondiente hasta el año 2018 a la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), actualmente esta facultad la ejerce la ARCERNNR. Los procesos de transición han afectado a la producción y publicación del registro de puntos de contaminación minera por lo que solo se dispone de dicha información para el periodo 2010 – 2018.

## **1.2 Justificación del problema**

Las posturas sobre si la abundancia de estos recursos naturales representa una bendición o una maldición para las economías son un punto relevante en el estudio de la contaminación minera, esto en conjunto con sus connotaciones políticas, económicas y sociales medidos en función de sus potenciales beneficios. En este contexto, van der Ploeg (2011) estudió un conjunto de hipótesis de hechos estilizados encontrando que los efectos adversos de la bonanza de estos recursos está asociada a mala institucionalidad, corrupción, o débil gobernabilidad. Por otro lado, Aragón y Rud (2013) encuentran evidencia que respalda un efecto positivo de la extracción de recursos naturales en términos de los ingresos reales de residentes locales. El estudio de la literatura indica que ambas representaciones son posibles. La expansión de este tipo de actividades extractivas en zonas dedicadas a la agricultura motiva a una disminución de este sector, a la vez que aumentan los empleos en el área de servicios. Kotsadam y Tolonen (2016) encuentran que la disminución de la agricultura es grande y supera con creces al aumento en el sector de los servicios del empleo femenino.

## **1.3 Pregunta de investigación**

¿Cómo cambia la tasa de natalidad en las parroquias del Ecuador según la exposición a contaminación minera?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar la asociación entre resultados en la densidad poblacional neonatal y la salud neonatal como consecuencia del grado de exposición a la contaminación minera en el

Ecuador a nivel parroquial para el análisis de la variación de la tasa de natalidad entre los años 2010 y 2020.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Analizar la influencia de puntos de contaminación minera mediante un diseño cuasiexperimental en ausencia de diferencias sistemáticas sobre la densidad poblacional neonatal.
2. Explicar la potencial asociación entre la salud neonatal y la contaminación minera a través del análisis de covariables espaciales como la localización geográfica o medidas de distancia.
3. Determinar el efecto de la contaminación minera diferenciando entre zonas donde esta representa un shock de lugares donde es un evento recurrente mediante un modelo de aproximación espacial.
4. Analizar la exposición a puntos de contaminación minera realizando un seguimiento de su dinámica espacio temporal utilizando sistemas de información geográfica.

#### **1.5 Marco teórico**

Existen diversos enfoques desde donde se abordan los efectos de la contaminación minera en la tasa de natalidad, estos difieren por el tipo de contaminación causada, las herramientas de medición y el nivel de impacto identificado. Ogasawara (2022) encuentra que la población local aumenta en las áreas mineras debido a procesos de migración interna en lugar de por un incremento de las tasas locales de matrimonios y fertilidad. Desde una perspectiva hospitalaria, se han analizado las asociaciones entre las malformaciones congénitas y la exposición prenatal a metales a través de trabajos mineros paternos (Van Brusselen et al., 2020), en este contexto, las tasas de prevalencia de defectos congénitos asociados con la residencia materna en áreas mineras resultaron ser significativamente altas incluso después de controlar por riesgos socioeconómicos (Ahern et al., 2011).

Respecto a la salud neonatal, la importancia de estudiar este componente radica en la necesidad de prevenir problemas como la prematuridad, un bajo peso al nacer,

enfermedades congénitas o incluso asegurar la supervivencia de la madre y el neonato en las labores de parto. Las consecuencias de la prematuridad pueden implicar riesgos en la salud de por vida, sin un adecuado tratamiento en el período neonatal existe mayor propensión a sufrir graves enfermedades o incluso puede provocar la muerte (World Health Organization [WHO], 2015). La Organización Mundial de la Salud reconoce que la intervención rápida y eficaz de los sistemas de salud en la edad gestacional ayudan a minimizar los daños para un problema recurrente en la salud pública (Vogel et al., 2015).

El estudio de las consecuencias de la exposición ante diferentes tipos de contaminación sobre la salud neonatal se puede analizar comparando a los niños afectados antes y después del shock y así juzgar su magnitud (Currie, 2013). El análisis de covariables espaciales como la localización geográfica o la distancia entre los recursos naturales y los pasivos ambientales tienen influencia directa sobre las estimaciones de los efectos sobre la salud neonatal (Li et al., 2012). La integración de este tipo de metodologías permite realizar inferencias y predicciones sobre la incidencia de enfermedades, y así estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento particular identificando su variabilidad espacio temporal y niveles de densidad.

La referencia a la tasa de natalidad suele presentarse de forma implícita en las investigaciones que evalúan los impactos de la contaminación minera, estas asociaciones comúnmente analizan de forma directa cuestiones relacionadas a la prevalencia de enfermedades en zonas de influencia y como estas motivan el desplazamiento de los afectados (Environmental Law Alliance Worldwide [ELAW], 2010), como aumentan las tasas de morbilidad y mortalidad en neonatos (Cortes-Ramirez et al., 2018) o como estas situaciones sugieren cambios en la organización laboral de una comunidad (Kotsadam y Tolonen, 2016).

### **1.5.1 Tipos de contaminación causada por la minería**

Las mineras movilizan grandes cantidades de material y desechos en las diversas etapas del desarrollo de la actividad que se dispersan fácilmente por el aire a manera de material particulado (resultado de excavaciones, transporte de materiales o voladuras), las fuentes de concentración incluyen un factor de aerosol suspendido con una huella

química similar a la producida por las actividades mineras (Pokorná et al., 2016), si no considera este tipo de balance se puede potencialmente sobreestimar la contribución de la minería y subestimar la significancia de otras como las fuentes de combustión (vehículos o equipo de transporte pesado). Otros contaminantes vienen de la emisión de combustibles en fuentes estacionarias y móviles, explosiones y procesamiento de minerales.

Los contaminantes de las minas en los sistemas fluviales pueden tener una variedad de impactos negativos en la biología y ecología de los invertebrados (Byrne et al., 2012), afectando a las especies acuáticas que pueden perecer ante este tipo de impactos, afectando su crecimiento, comportamiento y capacidad de reproducirse. Este tipo de afectación es el más significativo pues genera un conjunto de cuestiones sobre si los suministros de agua superficial y subterránea seguirán siendo aptos para el consumo humano. Metales tóxicos, particularmente el cobre, aluminio, cadmio, arsénico, plomo, pueden recubrir las fuentes de agua de un color rojo anaranjado, incluso en cantidades muy pequeñas los metales pueden ser tóxicos para los humanos y la fauna silvestre (ELAW, 2010). Estos contaminantes pueden ser transportados muy lejos de la zona minera y contaminar fuentes hídricas a grandes distancias.

El daño al entorno natural por actividades mineras se caracteriza por tener un efecto directo sobre el desarrollo de la vida silvestre, dentro de los ecosistemas donde existen yacimientos el hábitat de las estas especies suele desaparecer al requerir de espacios libres en la superficie para la ubicación de las instalaciones. Las labores mineras en el subsuelo (galerías subterráneas) tienen como potencial consecuencia los hundimientos del suelo, Albán-Campaña et al. (2022) elaboraron un modelo conceptual sobre la subsidencia en el barrio San José de Chilibulo al sur del Distrito Metropolitano de Quito, clasificando en tres niveles la zonificación de susceptibilidad al hundimiento encontrando que del área total de estudio el 9.91% (2.28 ha) presentaba una alta susceptibilidad. La generación galerías subterráneas está relacionado con el problema de la minería ilegal que, al no seguir procesos normativos, provocan el hundimiento superficial del relieve topográfico, Cando Jácome et al. (2020) analizan la contribución de los sismos y las fuertes lluvias en áreas deforestadas al aceleramiento de la tasa de hundimientos bajo una técnica multitemporal para el pronóstico mediante un monitoreo constante de las

zonas de interés, los resultados determinaron que el área de estudio era inestable y sugieren la creación de programas geotécnicos para su reducción.

Los impactos sociales suelen ser controvertidos y complejos ya que alcanzan una perturbación considerable dentro de los proyectos mineros, si consideramos los puestos de trabajo, la inversión en carreteras y el aumento en la demanda de bienes y servicios en lugares remotos como áreas empobrecidas, los costos y beneficios pueden ser compartidos de manera desigual (ELAW, 2010; Kotsadam y Tolonen, 2016). Es necesario considerar también los efectos por migración, estos pueden extenderse más allá de las inmediaciones de la mina, o por el contrario las actividades mineras pueden atraer nuevos habitantes a la comunidad. La pugna por el control de las áreas de influencia (International Federation for Human Rights [FIDH], 2020), la vulnerabilidad de las familias (Maldonado et al., 2018) y la desconexión entre el desarrollo de proyectos mineros y la realidad local contribuyen a profundizar estos problemas.

### **1.5.2 Contaminación ambiental y salud neonatal**

En la exploración sobre los efectos de la contaminación sobre la salud neonatal la evidencia sugiere que los cambios en las tasas de mortalidad o natalidad no solo dependen de las condiciones socio ecológicas alrededor del neonato, sino que existe una limitación en cuanto al enfoque de análisis, indicadores indirectos de la salud al nacer pueden implicar efectos heterogéneos entre grupos sociales incluso ante la exposición a los mismos niveles de contaminación (Currie, 2013). Otro factor a considerar es el trade-off salud-riqueza, Bensch-Tolonen (2019) explica que en industrias contaminantes este efecto tiende a ser débil ante las consecuencias de la alta mortalidad infantil derivada de la pobreza o de la desnutrición, aunque el efecto a priori es particularmente ambiguo. Usualmente se analiza la contaminación del aire como un factor local derivado de las actividades industriales, sin embargo, la exposición generalizada a otras fuentes potenciales de sustancias contaminantes más comunes suele estar subrepresentada, por ejemplo, las emisiones de los sistemas de transporte vial. El rol del estado en este contexto se ha manifestado por medio de impuestos a la congestión, Simeonova et al. (2021) encuentran que los efectos a corto plazo de los programas de reducción de la

contaminación pueden subestimar los beneficios a largo plazo, demostrando que la aplicación del impuesto redujo la contaminación del aire entre un 5 y un 15%.

El riesgo de contaminación sobre fuentes hídricas suele ser la más significativa de las afectaciones asociadas a la generación de pasivos ambientales mineros, Escobar-Segovia et al. (2021) encontraron que la concentración de metales pesados (Arsénico [As], Cobre [Cu] y Plomo [Pb]) era particularmente grave en el área minera de la parroquia Camilo Ponce Enríquez en la provincia del Azuay, asimismo determinaron que los niveles de As estaban por encima del límite de exposición segura, lo que aumenta el riesgo cancerígeno para los residentes de estas comunidades con ambos resultados significativamente mayores en la población de niños. La minería artesanal representa la más contaminante de los regímenes mineros en Ecuador, Marshall et al. (2020) determinan que este problema responde a una situación estructural, los mineros artesanales optan por la amalgama de sus minerales y en el proceso extraen aproximadamente solo el 30% del oro, dejando atrás los relaves contaminados con Mercurio (Hg), luego en el proceso de recuperación de oro residual por medio de la cianuración, se forman peligrosos complejos de cianuro de mercurio que representan el verdadero problema ambiental por su biodisponibilidad. La exposición prolongada a la contaminación minera puede producir defectos congénitos en los neonatos y provocar que estos difieran en características antropométricas (peso al nacer, talla y perímetro cefálico) de aquellos nacidos sanos (Van Brusselen et al., 2020).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Datos sobre contaminación minera

Este documento ha utilizado la información geográfica de la cobertura nacional de puntos de contaminación minera en formato vectorial (shape \*.shp) levantada por el Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS) del Ministerio del Ambiente, la información del archivo presenta un conjunto de indicadores y descriptivos de impactos socio-ambientales recopilados mediante informes de inspección realizados entre los años 2010 al 2018, esta información comprende los tipos de actividad de minería metálica y no metálica desarrollada en el régimen de pequeña minería y minería artesanal. Los tipos de pasivo ambiental identificados son: 1) bocamina/agua de mina, 2) cubeto, 3) relavera, 4) escombrera, 5) piscinas de sedimentación y 6) infraestructura abandonada. El panel a de la Tabla 2.1 muestra algunos estadísticos para esta base.

**Tabla 2.1 Estadísticas descriptivas**

	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Observaciones</b>
<b>a. Puntos de contaminación minera *</b>			
Registros por parroquias	194	231.607	1,599
AID punto de contaminación (ha)	499.945	916.343	1,599
Distancia a fuentes de agua (m)	223.4	205.781	1,599
Tipos de minería			
Minería metálica	0.778	-	1,245
Minería no metálica	0.091	-	146
<b>b. Registro de nacidos vivos</b>			
Nacidos vivos por parroquias **	117,708	55,564	1,117,557
Tasa de natalidad	16.43	7.575	1,116,889
Peso	3091.16	503.003	1,092,550
Talla	48.6116	2.4917	1,090,728
Controles prenatales	6.54	2.73927	1,054,644
Semanas de gestación	38.54	1.69596	1,092,371
Apgar1	8.09	0.911241	555,007
<b>c. Características maternas</b>			
Edad	25.93	6.63981	1,095,538

	Media	Desviación estándar	Observaciones
<b>Etnia</b>			
Mestiza	0.90	-	973,491
Afroecuatoriana	0.010	-	11,628
Indígena	0.05	-	54,439
Blanca	0.011	-	12,216
<b>Nivel de instrucción</b>			
Ninguno	0.026	-	28,270
Básica	0.386	-	417,797
Secundaria	0.393	-	424,585
Superior	0.195	-	211,187
<b>d. Características del hogar</b>			
Miembros del hogar	5	1.01613	910,398
Mujer como jefe de hogar	0.26	-	64,186
<b>Profesión del jefe de hogar ***</b>			
Minería	0.011	-	2,264
Agricultura	0.34	-	68,353
Construcción	0.076	-	15,207
Industria manufacturera	0.093	-	18,503

Nota. \* Se muestran estadísticas solo para puntos de contaminación minera que tengan fecha de informe del registro de contaminación en 182 parroquias, la base original tiene 7838 registros distribuidos en 403 parroquias. \*\* Se utiliza la parroquia de residencia solo para registros que tengan fecha de nacimiento del neonato, inscripción o fecha de nacimiento de la madre, registros de 1031 parroquias. \*\*\* Se presentan solo actividades que compiten por la mano de obra y por los recursos naturales.

En términos de identificación, la información es en su conjunto proveída por la ARCOM con el catastro de concesiones mineras y por las direcciones provinciales de ambiente con los informes de inspección realizadas a las actividades mineras. La base incluye la información de manera desagregada por provincias, cantones y parroquias; mes y año de la inspección; número de pasivos ambientales y tipos de pasivos identificados. Esta presenta limitaciones respecto a su completitud para los atributos de cada punto de contaminación minera, en particular, las variables cualitativas y la información sobre la fecha de realización del informe de contaminación para al menos el 80% de la base. Para determinar los grupos de análisis es necesario identificar la fecha del registro del pasivo ambiental, de un total de 7838 registros solo 1599 tienen esta información, siendo este

el total de datos final que se pueden analizar. Cuestiones relacionadas con actividades mineras ilegales no son registradas al no ser actividades regularizadas, por lo que su potencial de contaminación no puede ser evaluado.

En esta base, el grupo tratamiento fue determinado como el conjunto de puntos de contaminación minera localizados dentro de un radio inferior a la distancia promedio en kilómetros (km) entre la ubicación del poblado y todos los pasivos ambientales dentro del polígono que representa a la parroquia. Esta medida fue construida utilizando como centroide la ubicación del poblado. El grupo control se definió como el conjunto de puntos fuera del radio definido por dicha distancia promedio asumiendo que el efecto va disminuyendo (o es menor) a medida que los puntos de contaminación se encuentran más lejos de la población (Ahern et al., 2011; Aragón y Rud, 2013; Currie et al., 2013).

## **2.2 Datos sobre la tasa de natalidad**

Se utilizaron los registros de nacidos vivos diseñados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) para el período desde el año 2009 al 2020, las bases pasaron por un proceso de homologación para crear un único archivo de análisis que contemple la información sobre los nacimientos a nivel de parroquias, cantones y provincias. Se utilizó en conjunto con la información del clasificador geográfico estadístico para reemplazar los nombres de las provincias, cantones y parroquias por su esquema de codificación de la división político-administrativa del país, esto es, identificar jurisdicciones que puedan implicar que ciertos cantones pasen a formar parte de otras provincias, parroquias rurales que pasen a ser urbanas, o la conformación o supresión de algún cantón.

Para esta base se definió al grupo de tratamiento como aquellos neonatos que en su período de gestación hayan registrado un pasivo ambiental, es decir, si entre la fecha de inicio de la gestación y la fecha de nacimiento se registró al menos un pasivo ambiental. Se definió al grupo control como todos los niños que no registraron un pasivo ambiental en su período de gestación.

El proceso de análisis se especificó al unificar los registros de contaminación y el de nacidos vivos por parroquia de residencia de la madre (parroquia del registro ambiental) y año de nacimiento del neonato (año de registro del pasivo ambiental).

### **2.3 Otras características**

Se utilizó la información de la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU) para comprobar la composición de los hogares y los cambios en la situación laboral para las zonas en donde la contaminación minera es recurrente, esto como una explicación alternativa al análisis del comportamiento de la tasa de natalidad, asumiendo que el efecto no es necesariamente negativo pues las actividades mineras pueden ser consideradas como una oportunidad laboral que en su lugar contribuya al aumento de la población por procesos de migración interna. Siguiendo el esquema de análisis de (Ogasawara, 2022) si la migración interna fuera la principal causa de los cambios en la tasa de natalidad, cuestiones como el tamaño de los hogares deberían ser más pequeños que en zonas sin contaminación asumiendo que las personas son conscientes del riesgo potencial de la contaminación, deberían predominar en particular hombres como los jefes de hogar (de acuerdo con la desproporción de género del panel d en la tabla 2.1) y la proporción de personas dedicadas a actividades agrícolas (o cualquier otra que compita por la mano de obra con la minería) debería ser menor en estas zonas en función del uso de suelo, este último caso debería ser más evidente en zonas rurales.

Se ha utilizado información geográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM) sobre poblados, ríos y los registros cartográficos del sistema vial (carreteras, roderas y senderos) del Ecuador para construir medidas descriptivas respecto a los puntos de contaminación minera sobre su potencial de riesgo.

Los datos se analizaron en el Sistema de Información Geográfica (SIG) de QGIS, utilizando una capa base con la información sobre la división territorial del Ecuador de acuerdo con el último censo de población y vivienda desarrollado en 2010.

## 2.4 Descripción de las variables

La principal variable dependiente es la tasa de natalidad (cada mil habitantes por parroquia) se define como  $tn_p = \left( \frac{\text{número de nacimientos}}{\text{población total}} \right) * 1000$ , esta medida fue construida con el registro de nacidos vivos y la proyección poblacional parroquial para el período 2010 – 2020. El conjunto de variables de interés utilizadas en las estimaciones comprende medidas relevantes para la salud neonatal, en particular, el peso del niño al nacer, las semanas de gestación y la vitalidad al nacer. Algunas consideraciones para estas variables fueron extraídas de (WHO, 2015). Se definieron derivaciones como la variable de bajo peso para todas los neonatos con un peso inferior a 2500 gramos (g), si el nacimiento es prematuro (< 28 semanas de gestación) y una baja vitalidad al minuto de vida (apgar1 < 7).

Las variables de control utilizadas comprenden información materna y relacionada al parto, 1) tipo de parto, 2) edad de la madre, 3) si fue atendida en un hospital privado, 4) el número de controles prenatales, 5) el número del parto (respecto al número de embarazos que ha tenido la madre), 6) si el resultado del parto fue simple (un único hijo), 7) si la madre se encuentra en relación de dependencia (casada o en unión libre), 8) si el sexo del neonato es mujer, 9) área de residencia y 10) autoidentificación étnica de la madre.

## 2.5 Propuesta metodológica

Se diseñó un modelo cuasiexperimental para evaluar la asociación entre la tasa de natalidad y descriptores de la salud neonatal con la contaminación minera. Se estudiaron las áreas de influencia ambiental de los proyectos mineros con presencia de pasivos ambientales mediante un análisis espacial a nivel parroquial y considerando como base un conjunto de modelos econométricos bajo la estrategia de Diferencias en Diferencias (DD). Los grupos de comparación serán neonatos que se encuentren cerca de un punto de contaminación minera y que a la vez dicho registro se haya realizado en su período de gestación, el grupo control serán neonatos que no registren un pasivo ambiental en su período de gestación respecto a registros fuera del rango de contaminación.

Para analizar el efecto de la presencia de un pasivo ambiental como un nuevo evento (shock), es decir, parroquias que entre los años 2010 y 2018 tengan entre tres a un solo registro de contaminantes, se consideró la estimación por medio de un factor temporal que capture la influencia de la contaminación pasada (a un año),  $P_{t-1} = \sum pcm_{j,t-1}$ , sobre la exposición en los nacimientos.

Factor temporal:

$$y_{i,j,t} = \beta_0 + u_j + \beta_1 P_{t-1} + \varepsilon_{i,j,t} \quad (2.1)$$

Donde:

$y_{i,j,t}$ : variable de interés (tasa de natalidad)

$u_j$ : efectos fijos a nivel parroquial por año y mes

$P_{t-1}$ : Exposición pasada, total de registros de contaminación minera de la parroquia  $j$  en el año  $t - 1$ .

$\varepsilon_{i,j,t}$ : término de error

Subíndices:  $i$  (neonato),  $j$  (parroquia),  $t$  (año y mes)

Estimador simple:

$$y_{i,j,t} = \beta + u_j + \varphi_{DD}(D_{i,j} * R_t) + \gamma_1 D_{i,j} + \gamma_2 R_t + X_{i,j,t}\omega + T_t\theta + \varepsilon_{i,j,t} \quad (2.2)$$

Donde:

$y_{i,j,t}$ : variables de interés (peso, semanas de gestación, vitalidad al minuto de vida, probabilidad de bajo peso, nacimiento prematuro y baja vitalidad)

$u_j$ : efectos fijos a nivel cantonal por año y mes

$D_{i,j}$ : (= 1) si el punto de contaminación minera se encuentra a una distancia menor al promedio respecto al resto de puntos dentro de la parroquia

$R_t$ : (= 1) si el neonato registró al menos un pasivo ambiental en su período de gestación

$X_{i,j,t}$ : variables de control

$T_t$ : temporalidad (años y meses)

$\varepsilon_{i,j,t}$ : término de error

Subíndices:  $i$  (neonato),  $j$  (parroquia),  $t$  (año y mes)

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Tabla A.2 (en la sección del apéndice A) se ha estimado el impacto de la contaminación minera sobre la tasa de natalidad para las parroquias en donde esta representa un nuevo evento, es decir, que pueda contribuir a un aumento en el efecto al exponer a la población a una situación no planificada un año después del registro del pasivo ambiental.

Agregar rezagos a la ecuación permite considerar la duración de la exposición. Las estimaciones sugieren que para parroquias donde la contaminación minera es un shock, la tasa de natalidad un año después del registro del pasivo ambiental disminuye hasta en 3 nacimientos cada 1000 habitantes, siendo dicho resultado significativo al 5% sin estimar errores estándar consistentes al agrupar por parroquias. El efecto estimado es homogéneo respecto al tipo de evento analizado, es decir, la relación es negativa tanto para la contaminación como un shock (columnas 2 y 3) o como un evento recurrente (1) al estudiar la muestra completa.

Las estimaciones para las variables de interés relevantes para el estudio de la salud neonatal se muestran en la Tabla A.3, el grupo de tratamiento son niños que durante su período de gestación registraran un punto de contaminación minera comparados con aquellos que no registraron ningún pasivo ambiental, esto para puntos de contaminación dentro de un radio menor a la distancia promedio respecto al poblado de la parroquia.

Para variables como las semanas de gestación y la vitalidad al minuto de nacer, el agregar efectos fijos estándar reduce la estimación del efecto generado alrededor de las áreas de contaminación minera, llegando a ser incluso positivo en el último caso, esto podría ser explicado por la inmediatez del impacto de la contaminación, que para el caso de tres o menos registros pueden encontrarse todos en un mismo año o distribuirse a lo largo del período de estudio, siendo este también el motivo por el que para la variable de peso que mostraba una tendencia decreciente (desde 5 hasta 51 gramos menos en la estimación respecto a niños no afectados por contaminación), se muestre positiva en el caso de que exista un solo registro en todo el período de estudio.

Los primeros tres modelos muestran en términos probabilísticos un aumento del riesgo al nacimiento con bajo peso, nacimiento prematuro o una baja vitalidad al nacer, siendo esta última variable la más significativa de las estimaciones al analizar la muestra completa dimensionando un aumento en la probabilidad de hasta 8.79%.

En las estimaciones de la Tabla A.4 se condiciona para parroquias que limitan en términos administrativos con aquellas donde existe contaminación. Esto para explicar el potencial desplazamiento a zonas donde no hay contaminación.

En este caso la estrategia empírica indicaría que probablemente no se esté capturando los efectos acumulados (efectos directos más efectos indirectos) de los puntos de contaminación minera sobre los descriptores de la salud neonatal, siendo este el factor potencial por el que la variable peso es positiva en el primer modelo, y también explica por qué al agregar efectos fijos esta estimación pasa a ser negativa. Esta situación puede ser observada en los cambios que hay para la probabilidad de una baja vitalidad que, respecto a la tabla anterior en el primer modelo, ahora baja a 6.83%. Estas estimaciones sugieren también que el desplazamiento materno se realiza todavía mucho más lejos que solo a parroquias contiguas.

El último escenario (ver Tabla A.5) restringe mucho más la muestra ahora solo a un período de nueve meses antes del registro pasivo ambiental para el grupo control de niños no afectados por la contaminación, esto sin limitar a vecinos administrativos. El objetivo de hacer esta comparación es determinar si el hecho de haber nacido justo antes del registro del pasivo ambiental condiciona a que el neonato tenga mejores indicadores de salud al nacer a comparación de aquellos que registran un pasivo ambiental en su período de gestación.

El cambio más relevante está representado en la variable peso, que a diferencia de las estimaciones anteriores en escenarios shock, es ahora significativa, el déficit promedio de 138 gramos al nacer representa una disminución de 4.33% respecto al peso promedio de niños no expuestos a contaminación minera. El impacto es mayor sobre la probabilidad de nacer con baja vitalidad que en cualquier otro escenario, variando entre

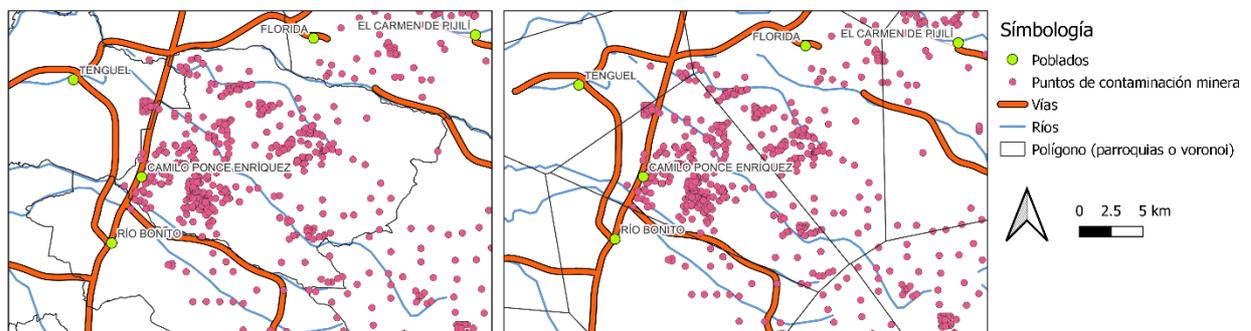
el 14 al 33% en el aumento del riesgo de este evento, esto por la disminución de hasta 1.086 puntos en una escala de 1 a 10 en la valoración de la vitalidad al minuto de vida.

En general las estimaciones entre los descriptores de la salud neonatal y la contaminación minera son negativas, considerando que son una estimación del límite inferior del efecto real de la contaminación minera al no considerar los efectos de por ejemplo la minería ilegal. Las contaminaciones se concentran en zonas con ventajas geográficas (potencial mineralizable) aunque su impacto afecta más allá de sus AID. El efecto estimado entre eventos recurrentes en contaminación y lugares donde esto es un shock van en la misma dirección, aunque con mayor intensidad en las transformaciones de las características antropométricas, por lo que el impacto para neonatos que tienen complicaciones en el embarazo es mayor en función del riesgo asociado.

### 3.1 Robustez de resultados

Para comprobar la robustez de resultados a la distancia se utilizó una aproximación matemática por construcción de polígonos de Thiessen o diagramas de Voronoi (Wu et al., 2004), esto para que se consideren solo aquellos puntos de contaminación más cercanos al poblado para el cálculo de las distancias (ver Figura 3.2), los resultados son mostrados en la sección del apéndice B, (ver Figura B.5).

**Figura 3.2 Polígonos y delimitación del estudio**

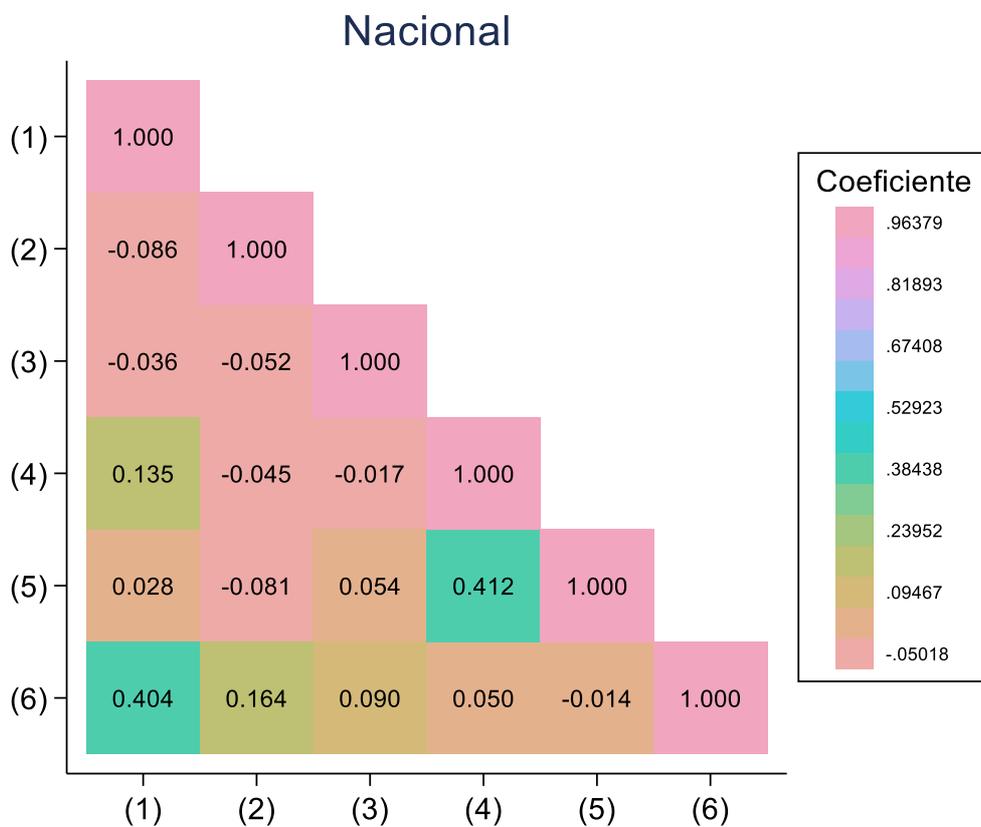


Nota. A la izquierda, el polígono de límites administrativos, a la derecha, delimitación por diagrama de Voronoi.

### 3.2 Composición de los hogares

Utilizando una base homogeneizada de la encuesta ENEMDU para el período 2010 – 2020, se analizaron a nivel exploratorio solo las parroquias en donde existe al menos un punto de contaminación minera.

Figura 3.3 Gráfico de correlación para las características del hogar



Nota. (1) Tasa de natalidad, (2) Puntos de contaminación minera, (3) Área rural, (4) Número promedio de integrantes de la familia, (5) Número promedio de integrantes de la familia que trabajan en actividades agrícolas, (6) Número promedio de integrantes de la familia que trabajan en actividades mineras.

La relación entre el tamaño promedio de un hogar y los puntos de contaminación minera es negativa al igual que su análogo de la tasa de natalidad, esto puede ser indicativo de que existe desplazamiento desde las zonas con contaminación y no hacia estas parroquias, por lo que la disminución en el número de integrantes de una familia puede aportar de forma indirecta a la disminución de la tasa de natalidad. Respecto a la relación

entre actividades agrícolas y mineras con la contaminación, entre más actividad minera hay mayor probabilidad de que exista contaminación, el número de trabajadores agrícolas disminuye en estas zonas.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Este estudio analiza el impacto de la contaminación minera sobre la tasa de natalidad y descriptores de la salud neonatal. Los principales resultados indican que existe una relación negativa entre las variables de interés y los puntos de contaminación minera en su dinámica espacio temporal, la población de neonatos disminuye en zonas con contaminación minera en el largo plazo. El aporte a esta situación de las variables como el peso, semanas de gestación y la vitalidad al nacer indicaría que la respuesta de la población es tardía pues estos valores son negativos en todos los escenarios, sobre los cuales la magnitud del efecto varía.

El proceso de análisis consistió en unificar los registros de nacidos vivos con los datos de contaminación minera, esto para la parroquia de residencia materna y el año de nacimiento del niño. Se utilizan los sistemas de información geográfica para calcular medidas de distancia entre los puntos de contaminación y los poblados de cada parroquia para determinar los grupos de comparación, siendo esto, neonatos que durante su período de gestación registraran al menos un pasivo ambiental y que estos se encuentren dentro de un radio determinado por la distancia promedio entre el poblado y los puntos de contaminación. Asumiendo que el efecto sobre la tasa de natalidad se caracteriza en el largo plazo, se realiza un modelo MCO que considere el número de contaminaciones hasta un año antes del nacimiento y por cada parroquia. La estrategia de DD se utiliza para analizar los descriptores de la salud neonatal (peso, semanas de gestación y vitalidad al minuto de vida) bajo diversos escenarios (contaminación como un shock y recurrente, por aproximación geográfica y en un umbral de nueve meses).

La tasa de natalidad disminuye en zonas con contaminación minera, este efecto está asociado con los déficits sobre los parámetros de la salud neonatal que presentan los niños al nacer. Las estimaciones siguen siendo negativas incluso después de controlar por factores maternos. Bajo los diversos escenarios estudiados los resultados son homogéneos, la variable peso en particular presenta mayor intensidad al analizar parroquias con tres o menos registros de contaminación.

Otras investigaciones como el estudio de morbilidad de Ahern et al. (2011) o el trabajo de dos Santos et al. (2021) coinciden particularmente en que hay un mayor riesgo de bajo peso (o incluso extremadamente bajo peso) al nacer en recién nacidos de madres residentes en distritos mineros, esto con índices de prevalencia de hasta el 10%, para este trabajo dicha medida llega al 8.66%, considerado alto y que incide en un mayor riesgo de efectos en la salud del neonato.

Indicadores de la salud neonatal como el bajo al nacer sugieren la necesidad de ofrecer intervenciones neonatales como parte de estrategias para la supervivencia infantil basadas en análisis coyunturales específicos a nivel de parroquias.

## **4.2 Recomendaciones**

La minería es una de las actividades económicas primarias, por lo que su contribución al crecimiento económico de un país es significativo y relevante para el debate de políticas públicas, una oportunidad para profundizar en este tema de investigación sería analizar si la emisión de permisos de funcionamiento (otorgamiento de la concesión) durante y antes de la culminación de las actividades de remediación o limpieza contribuyen a que estos pasivos ambientales se conviertan en un problema recurrente. Esto respaldado en que los registros de contaminación dejan una interpretación ambigua de si se ha remediado o no el problema.

# BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Pesantes, A., Peña Carpio, E., Vitvar, T., Koepke, R., & Menéndez-Aguado, J. M. (2021). A Comparative Study of Mining Control in Latin America. *Mining*, 1(1), 6–18. <https://doi.org/10.3390/mining1010002>
- Ahern, M. M., Hendryx, M., Conley, J., Fedorko, E., Ducatman, A., & Zullig, K. J. (2011). The association between mountaintop mining and birth defects among live births in central Appalachia, 1996–2003. *Environmental Research*, 111(6), 838–846. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.05.019>
- Albán-Campaña, D. D., Zapata, J., Ordoñez, E., Toulkeridis, T., Rodriguez, K., Martinez-Maldonado, K. P., & Zapata, A. (2022). Evaluation of Subsidence Hazard with Geo-Radar Within a Populated City—A Case Study of Southern Quito, Ecuador. En M. Botto-Tobar, H. Cruz, & A. Diaz Cadena (Eds.), *Recent Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* (pp. 169–183). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08288-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08288-7_11)
- Aragón, F. M., & Rud, J. P. (2013). Natural Resources and Local Communities: Evidence from a Peruvian Gold Mine. *American Economic Journal: Economic Policy*, 5(2), 1–25. <https://doi.org/10.1257/pol.5.2.1>
- Banco Central del Ecuador. Sector minero (2022). *Estadísticas del sector minero* [Archivo de datos]. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/MineralIndic e.htm>
- Benshaul-Tolonen, A. (2019). Local Industrial Shocks and Infant Mortality. *The Economic Journal*, 129(620), 1561–1592. <https://doi.org/10.1111/econj.12625>
- Byrne, P., Wood, P. J., & Reid, I. (2012). The Impairment of River Systems by Metal Mine Contamination: A Review Including Remediation Options. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(19), 2017–2077. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.574103>
- Cando Jácome, M., Martínez-Graña, A. M., & Valdés, V. (2020). Detection of Terrain Deformations Using InSAR Techniques in Relation to Results on Terrain Subsidence (Ciudad de Zaruma, Ecuador). *Remote Sensing*, 12(10), 1598. <https://doi.org/10.3390/rs12101598>

- Cánovas, C. R., Olías, M., Sarmiento, A. M., Nieto, J. M., & Galván, L. (2012). Pollutant transport processes in the Odiel River (SW Spain) during rain events. *Water Resources Research*, 48(6). <https://doi.org/10.1029/2011WR011041>
- Colectivo de Investigación y Acción Psicosocial Ecuador. (2017). *La Herida Abierta del Cóndor*. Vázquez González, Eva. <https://isbn.cloud/9789942283054/la-herida-abierta-del-condor/>
- Correia, S. (2019). REGHDFE: Stata module to perform linear or instrumental-variable regression absorbing any number of high-dimensional fixed effects. En *Statistical Software Components*. Boston College Department of Economics. <https://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s457874.html>
- Cortes-Ramirez, J., Naish, S., Sly, P. D., & Jagals, P. (2018). Mortality and morbidity in populations in the vicinity of coal mining: A systematic review. *BMC Public Health*, 18(1), 721. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5505-7>
- Currie, J. (2013). Pollution and Infant Health. *Child Development Perspectives*, 7(4), 237–242. <https://doi.org/10.1111/cdep.12047>
- Currie, J., Graff Zivin, J., Meckel, K., Neidell, M., & Schlenker, W. (2013). Something in the water: Contaminated drinking water and infant health. *Canadian Journal of Economics/Revue Canadienne d'économique*, 46(3), 791–810. <https://doi.org/10.1111/caje.12039>
- Del Pozo Loayza, C. E., & Paucarmayta Tacuri, V. (2015). *Impacto de la minería en la producción agropecuaria en el Perú, impactos heterogéneos y determinación de los canales de transmisión | Consorcio de Investigación Económica y Social* (Informe técnico PMN-A1-T4-2014; p. 113). Centro de Estudios Regionales Andinos “Bartolomé de las Casas”. <https://cies.org.pe/es/investigaciones/desarrollo-rural-medio-ambiente-recursos-naturales-y-energia-pobreza/impacto-de-la>
- dos Santos, M., Ramires, P. F., Gironés, M. C. R., Rubio Armendáriz, M. del C., Montelongo, S. P., Muccillo-Baisch, A. L., & da Silva Junior, F. M. R. (2021). Multiple exposure pathways and health risk assessment of selenium for children in a coal mining area. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 13562–13569. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11514-4>
- Empresa Nacional Minera. Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Expost de la concesión minera Muyuyacu (Código 3622). (22 de noviembre de

- 2019). <https://www.enamiep.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/Formato-Invitaci%C3%B3n-personal-Participaci%C3%B3n-Ciudadana-Proyecto-Muyuyacu.pdf>
- Environmental Law Alliance Worldwide. (2010). *Guidebook for Evaluating Mining Project EIAs* (1a ed.). Environmental Law Alliance Worldwide (ELAW). <https://www.elaw.org/mining-eia-guidebook>
- Escobar-Segovia, K., Jiménez-Oyola, S., Garcés-León, D., Paz-Barzola, D., Navarrete, E. C., Romero-Crespo, P., & Salgado, B. (2021). Heavy metals in rivers affected by mining activities in Ecuador: Pollution and human health implications. *Air and Water Pollution* 2022, 250, 61–72. <https://doi.org/10.2495/WRM210061>
- Hogsden, K. L., & Harding, J. S. (2012). Consequences of acid mine drainage for the structure and function of benthic stream communities: A review. *Freshwater Science*, 31(1), 108–120. <https://doi.org/10.1899/11-091.1>
- International Federation for Human Rights. Large-scale mining in Ecuador and Human rights abuses. (December 2010). <https://www.fidh.org/en/region/americas/ecuador/8921-large-scale-mining-project-in-ecuador-urgent-need-for-a-moratorium-to>
- Kotsadam, A., & Tolonen, A. (2016). African Mining, Gender, and Local Employment. *World Development*, 83, 325–339. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.01.007>
- Ley de minería. Ley 45. Registro Oficial Suplemento 517 de 29-ene.-2009. (29 de enero de 2009). [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Ley-de-Miner%C3%ADa.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Ley-de-Miner%C3%ADa.pdf)
- Li, L., Wang, J., & Wu, J. (2012). A spatial model to predict the incidence of neural tube defects. *BMC Public Health*, 12(1), 951. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-951>
- Liao, Y., Zhang, Y., He, L., Wang, J., Liu, X., Zhang, N., & Xu, B. (2016). Temporal and Spatial Analysis of Neural Tube Defects and Detection of Geographical Factors in Shanxi Province, China. *PLOS ONE*, 11(4), e0150332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150332>
- Maldonado, D., Massa, P., & Arcos, R. D. C. (2018). Minería a gran escala y conflictos sociales: Un análisis para el sur de Ecuador. *Problemas del Desarrollo. Revista*

- Latinoamericana de Economía*, 49(194), Article 194.  
<https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2018.194.63175>
- Marshall, B. G., Veiga, M. M., da Silva, H. A. M., & Guimarães, J. R. D. (2020). Cyanide Contamination of the Puyango-Tumbes River Caused by Artisanal Gold Mining in Portovelo-Zaruma, Ecuador. *Current Environmental Health Reports*, 7(3), 303–310. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00276-3>
- Maus, V., Giljum, S., Gutschlhofer, J., da Silva, D. M., Probst, M., Gass, S. L. B., Luckeneder, S., Lieber, M., & McCallum, I. (2020). *Global-scale mining polygons (Version 1)* [Data set]. PANGAEA. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.910894>
- Mestanza-Ramón, C., Paz-Mena, S., López-Paredes, C., Jimenez-Gutierrez, M., Herrera-Morales, G., D’Orio, G., & Straface, S. (2021). History, Current Situation and Challenges of Gold Mining in Ecuador’s Litoral Region. *Land*, 10(11), 1220. <https://doi.org/10.3390/land10111220>
- Ogasawara, K. (2022). *Prosperity or pollution? Mineral mining and regional growth in industrializing Japan* (arXiv:2112.14514). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.14514>
- Oviedo-Anchundia, R., Moína-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 4(2), 5. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- Pokorná, P., Hovorka, J., & Brejcha, J. (2016). Impact of Mining Activities on the Air Quality in The Village Nearby a Coal Strip Mine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 44, 032021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/3/032021>
- Rudel, T. K. (2018). The Extractive Imperative in Populous Indigenous Territories: The Shuar, Copper Mining, and Environmental Injustices in the Ecuadorian Amazon. *Human Ecology*, 46(5), 727–734. <https://doi.org/10.1007/s10745-018-0011-1>
- Rüttinger, L., & Sharma, V. (2016). *Climate Change and Mining. A Foreign Policy Perspective* (p. 28). adelphi. <https://climate-diplomacy.org/magazine/environment/climate-change-and-mining-foreign-policy-perspective>
- Simeonova, E., Currie, J., Nilsson, P., & Walker, R. (2021). Congestion Pricing, Air Pollution, and Children’s Health. *Journal of Human Resources*, 56(4), 971–996. <https://doi.org/10.3368/jhr.56.4.0218-9363R2>

- Van Brusselen, D., Kayembe-Kitenge, T., Mbuyi-Musanzayi, S., Lubala Kasole, T., Kabamba Ngombe, L., Musa Obadia, P., Kyanika wa Mukoma, D., Van Herck, K., Avonts, D., Devriendt, K., Smolders, E., Nkulu, C. B. L., & Nemery, B. (2020). Metal mining and birth defects: A case-control study in Lubumbashi, Democratic Republic of the Congo. *The Lancet Planetary Health*, 4(4), e158–e167. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30059-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30059-0)
- van der Ploeg, F. (2011). Natural Resources: Curse or Blessing? *Journal of Economic Literature*, 49(2), 366–420. <https://doi.org/10.1257/jel.49.2.366>
- Vogel, J. P., Oladapo, O. T., Manu, A., Gülmezoglu, A. M., & Bahl, R. (2015). New WHO recommendations to improve the outcomes of preterm birth. *The Lancet Global Health*, 3(10), e589–e590. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(15\)00183-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(15)00183-7)
- World Health Organization. (2015). *WHO recommendations on interventions to improve preterm birth outcomes*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/183037>
- Wu, J., Wang, J., Meng, B., Chen, G., Pang, L., Song, X., Zhang, K., Zhang, T., & Zheng, X. (2004). Exploratory spatial data analysis for the identification of risk factors to birth defects. *BMC Public Health*, 4(1), 23. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-4-23>

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

Tabla A.2 Efectos de la exposición a contaminación minera en la tasa de natalidad

	MCO con efectos fijos		
	Muestra completa	Parroquias con un solo registro de contaminación minera	Parroquias con un solo registro de contaminación minera (clusters)
	(1)	(2)	(3)
Exposición pasada (1 año)	-0.0253 (0.0319)	-2.771* (1.244)	-3.115 (1.748)
Observaciones	775	258	257
R <sup>2</sup>	0.001	0.019	0.273
Clusters	-	-	64

Nota. Los resultados muestran la estimación de la ecuación 2.1 sobre la tasa de natalidad. (1) es la estimación para todas las parroquias. (2 y 3) restringen el análisis a parroquias donde la contaminación minera es un nuevo evento. (3) muestra los resultados con errores estándar agrupados a nivel de parroquias. Errores estándar entre paréntesis. Niveles de significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

**Tabla A.3 Efectos de la contaminación minera en la salud neonatal**

	Diferencias en Diferencias					
	Peso	Semanas de gestación	Apgar1	Bajo peso	Nacimiento prematuro	Bajo test apgar1
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Muestra completa	-5.371 (46.97) [1,002,077]	-0.220 (0.120) [1,001,934]	-0.627*** (0.108) [552,523]	0.0240 (0.0248) [1,002,077]	0.00245*** (0.000671) [1,001,934]	0.0879*** (0.0141) [552,523]
Efectos fijos por cantón, año y mes	-22.51 (29.53) [1,002,077]	-0.121 (0.0954) [1,001,934]	-0.0521 (0.0886) [552,523]	0.0231 (0.0190) [1,002,007]	0.00188 (0.000962) [1,001,934]	0.0334* (0.0154) [552,523]
Parroquias con tres o menos registros de contaminación	-51.19 (31.71) [59,774]	-0.121 (0.131) [59,788]	0.00635 (0.0888) [32,813]	0.0314 (0.0230) [59,774]	0.00333* (0.00166) [59,788]	0.0137 (0.0170) [32,813]
Parroquias con un solo registro de contaminación	17.31 (42.50) [18,662]	-0.0318 (0.149) [18,675]	-0.0208 (0.114) [11,087]	0.0138 (0.0248) [18,662]	-0.00408 (0.00356) [18,675]	0.00946 (0.0250) [11,087]

Nota. Se muestran las estimaciones de la ecuación 2.2 sobre los descriptores de la salud neonatal (peso, semanas de gestación, apgar1, y para sus probabilidades sobre el riesgo neonatal). Errores estándar agrupados a nivel de parroquias son mostrados entre paréntesis. Número de observaciones mostrados entre corchetes. Niveles de significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Nota 2. El número de parroquias para las estimaciones con muestra completa, agregando efectos fijos, limitando por el número de contaminaciones a menor o igual que 3 registros e igual que 1 son 1025, 1025, 113 y 65 respectivamente.

**Tabla A.4 Efectos de la contaminación minera en la salud neonatal, aproximación geográfica**

	Diferencias en Diferencias					
	Peso	Semanas de gestación	Apgar1	Bajo peso	Nacimiento prematuro	Bajo test apgar1
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Muestra completa	33.64 (47.91) [292,798]	-0.111 (0.115) [292,870]	-0.532*** (0.107) [163,406]	0.0130 (0.0247) [292,798]	0.00216** (0.000702) [292,870]	0.0683*** (0.0127) [163,406]
Efectos fijos por cantón, año y mes	-14.71 (32.41) [292,796]	-0.107 (0.0959) [292,868]	-0.0717 (0.0873) [163,406]	0.0198 (0.0208) [292,796]	0.00177 (0.00107) [292,868]	0.0288 (0.0152) [163,406]
Parroquias con tres o menos registros de contaminación	-51.19 (31.71) [59,774]	-0.121 (0.131) [59,788]	0.00635 (0.0888) [32,813]	0.0314 (0.0230) [59,774]	0.00333* (0.00166) [59,788]	0.0137 (0.0170) [32,813]
Parroquias con un solo registro de contaminación	17.31 (42.50) [18,662]	-0.0318 (0.149) [18,675]	-0.0208 (0.114) [11,087]	0.0138 (0.0248) [18,662]	-0.00408 (0.00356) [18,675]	0.00946 (0.0250) [11,087]

Nota. Se muestran las estimaciones de la ecuación 2.2 sobre los descriptores de la salud neonatal (peso, semanas de gestación y apgar1, y para sus probabilidades sobre el riesgo neonatal). Errores estándar agrupados a nivel de parroquias son mostrados entre paréntesis. Número de observaciones mostrados entre corchetes. Niveles de significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Nota 2. El número de parroquias para las estimaciones con muestra completa, agregando efectos fijos, limitando por el número de contaminaciones a menor o igual que 3 registros e igual que 1 son 496, 496, 113 y 65 respectivamente. Los dos últimos casos son iguales a los mostrados en la tabla anterior.

**Tabla A.5 Efectos de la contaminación minera en la salud neonatal, umbral de nueve meses**

	Diferencias en Diferencias					
	Peso	Semanas de gestación	Apgar1	Bajo peso	Nacimiento prematuro	Bajo test apgar1
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Muestra completa	-19.73 (37.62) [10,824]	0.0611 (0.104) [10,825]	-0.556 (0.660) [3,673]	0.00784 (0.0217) [10,824]	0.0000784 (0.000905) [10,825]	0.140 (0.129) [3,673]
Efectos fijos por cantón, año y mes	-54.63 (48.04) [10,800]	-0.0610 (0.111) [10,801]	-1.086 (0.939) [3,641]	0.00476 (0.0315) [10,800]	-0.000738 (0.00161) [10,801]	0.223 (0.190) [3,641]
Parroquias con tres o menos registros de contaminación	-138.0** (48.49) [4,215]	-0.122 (0.142) [4,215]	-1.606 (0.970) [897]	0.0525 (0.0391) [4,215]	0.00233 (0.00160) [4,215]	0.329 (0.206) [897]

Nota. Se muestran las estimaciones de la ecuación 2.2 sobre los descriptores de la salud neonatal (peso, semanas de gestación y apgar1, y para sus probabilidades sobre el riesgo neonatal). Errores estándar agrupados a nivel de parroquias son mostrados entre paréntesis. Número de observaciones mostrados entre corchetes. Niveles de significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

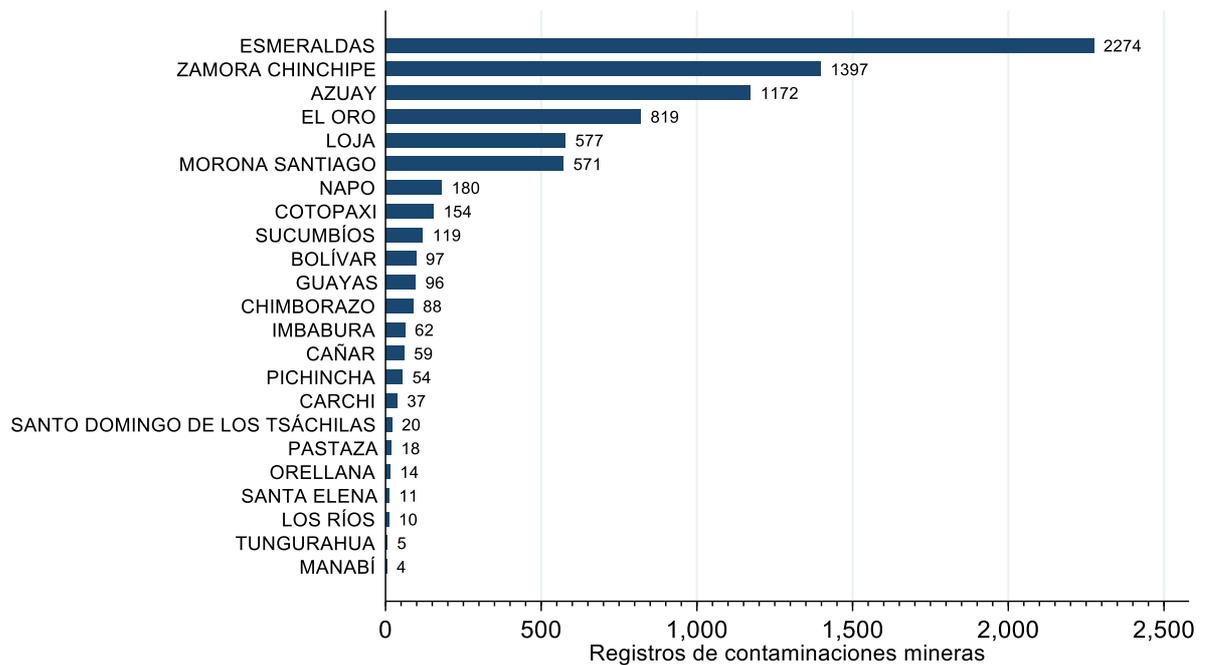
Nota 2. El número de parroquias para las estimaciones con muestra completa, agregando efectos fijos y limitando por el número de contaminaciones a menor o igual que 3 registros son 118, 115 y 56 respectivamente. Se omite el caso para parroquias con un solo registro de contaminación porque la variable de agrupamiento (parroquias) tiene pocas categorías (16) ya que no se recomienda ejecutar errores estándar agrupados con muy pocos niveles diferentes ( $< 50$ ) (Correia, 2019).

## APÉNDICE B

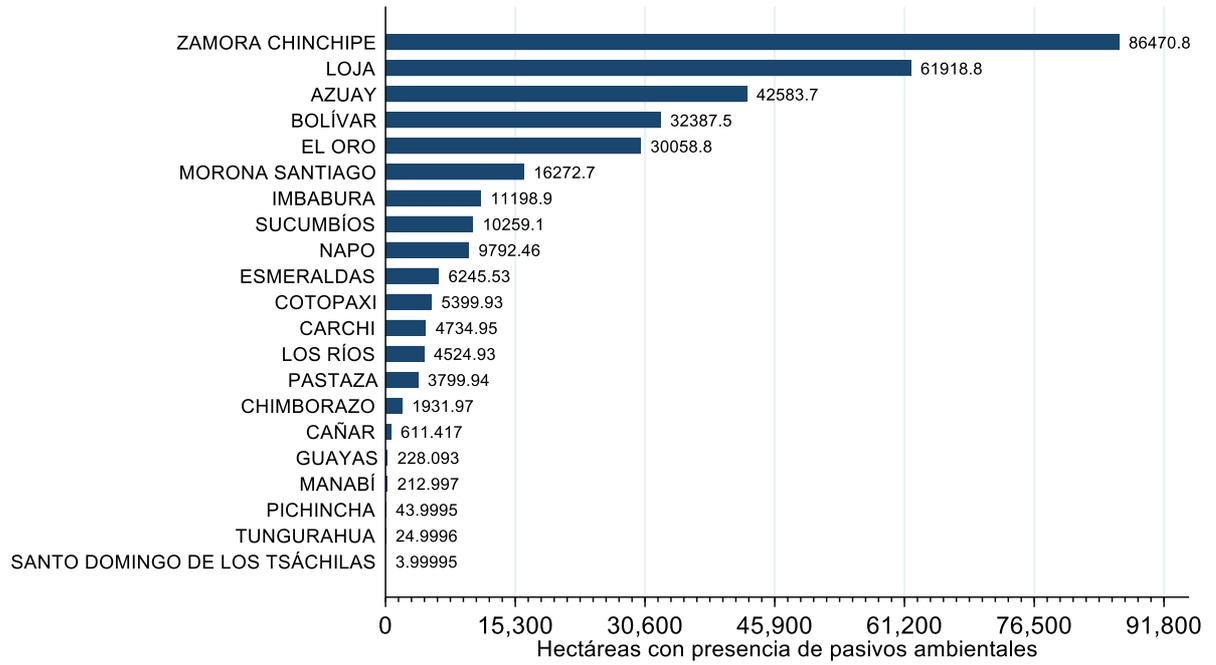
### Breve revisión estadística de los puntos de contaminación minera

El registro de contaminaciones mineras del Ecuador para el período 2010 – 2018 consta de 7838 entradas, para el proceso de análisis que incorpora la dimensión temporal de los datos es necesario depurar la información a solo registros que tengan fecha del informe de contaminación para clasificar los grupos de análisis, esto no es problema para el estudio a nivel espacial pero si una limitante metodológica, a continuación se muestran gráficos y estadísticas adicionales que contribuyan a una mejor comprensión de la evolución de la concentración de las contaminaciones considerando las limitaciones de interpretación de las variables.

**Gráfico B.2 Registros totales de pasivos ambientales por provincias**

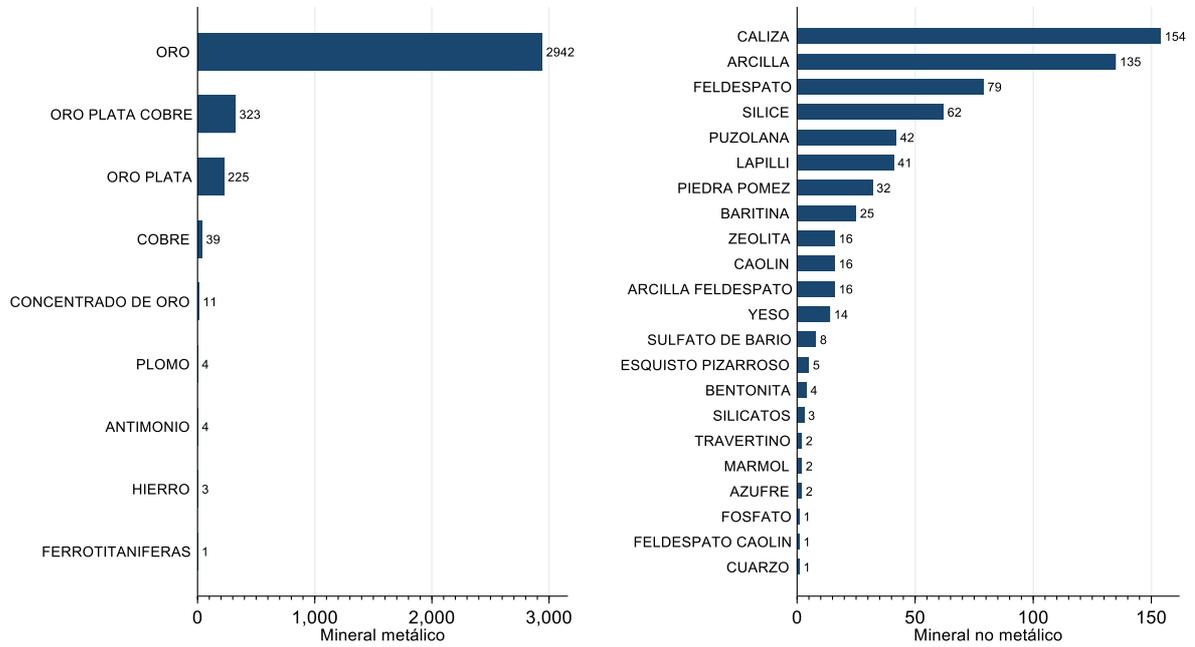


**Gráfico B.3 Superficie total con presencia de contaminación minera por provincias**



Nota. El área total con contaminación minera representa la superficie concesionada que registra al menos un pasivo ambiental. Solo se agrega la superficie de registros que tienen fecha de informe sin considerar entradas duplicadas para concesiones con más de un pasivo ambiental.

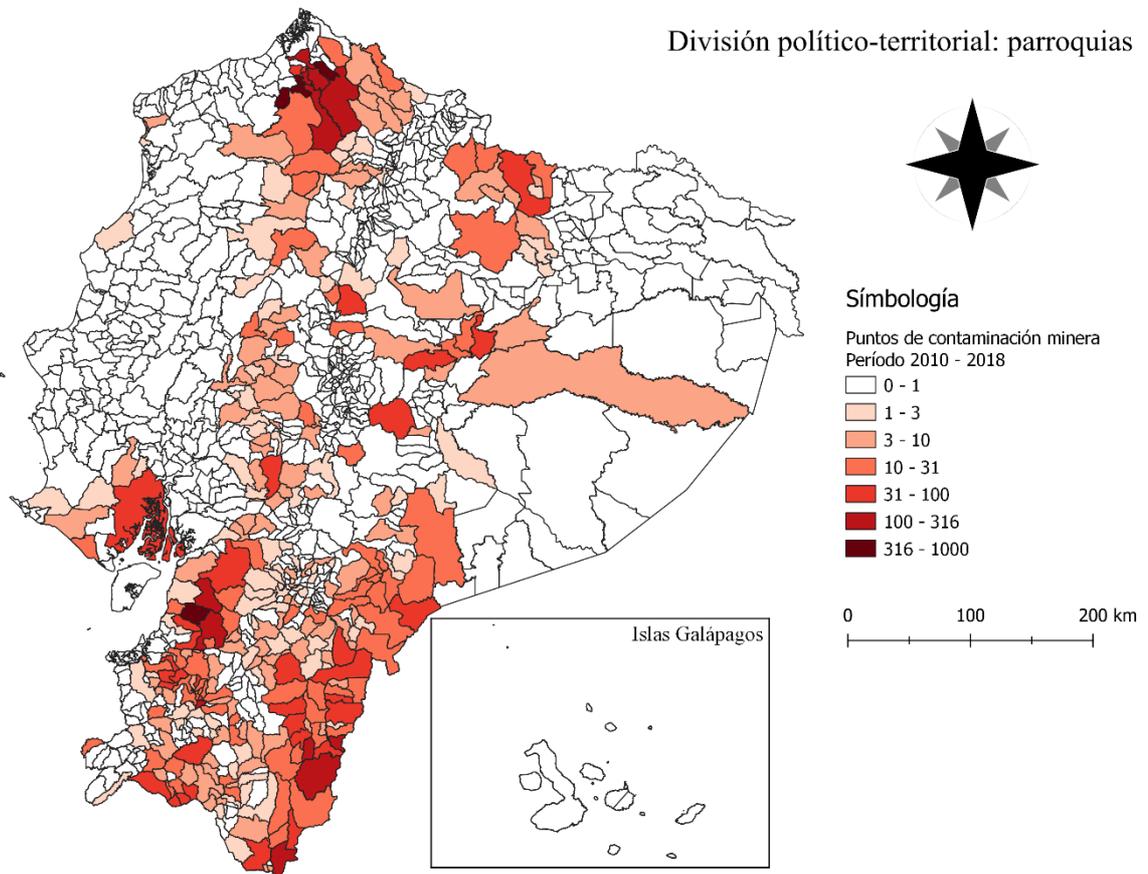
**Gráfico B.4 Fuentes de contaminación por tipo de mineral extraído**



Nota. Los grupos corresponden al conjunto de minerales extraídos y no a una clasificación individual.

Las fuentes de contaminación minera corresponden al resultado de las actividades bajo el régimen de minería artesanal y pequeña minería.

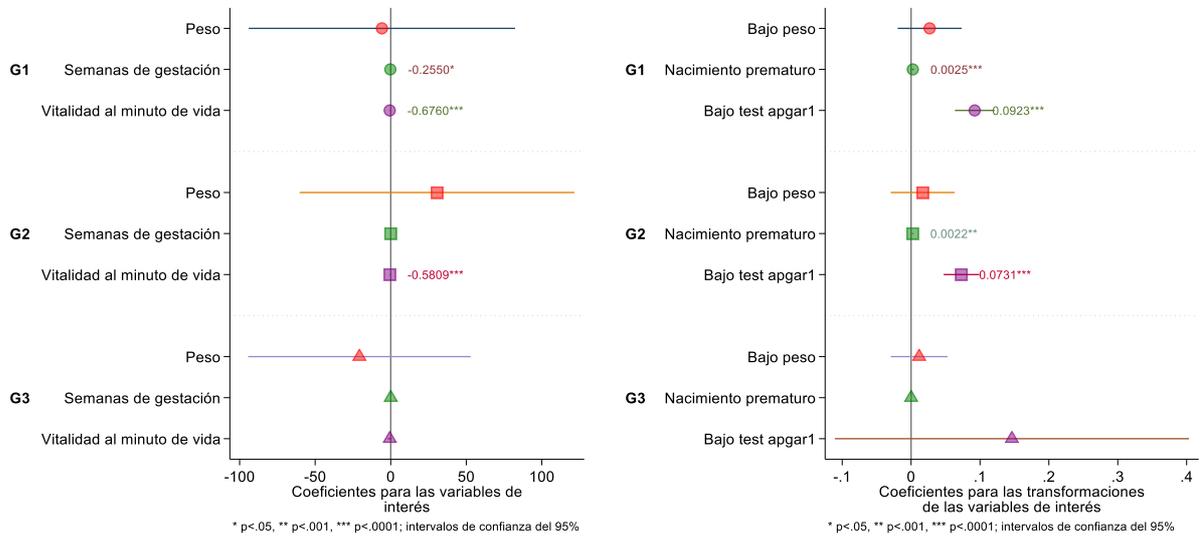
**Figura B.4 Concentración de puntos de contaminación minera**



Nota. Se agregan el total de fuentes de contaminación para todo el período, la estimación de los grupos utiliza una clasificación de escala logarítmica dada la distribución y concentración de los pasivos ambientales.

Un total de 403 parroquias registraron pasivos ambientales en el período de estudio, de estas 76 registran un solo pasivo ambiental, 165 registran 3 o menos, y solo 16 superan los 100 registros: Zaruma (101), Nuevo Quito (102), Zurmi (115), Luis Vargas Torres (120), Pucará (124), Portovelo (131), Alto Tambo (145), Concepción (155), El Carmen de Pijilí (171), Chito (184), San Carlos de las Minas (188), 5 de Junio (288), Atahualpa (333), Urbina (519), Selva Alegre (548) y Camilo Ponce Enríquez (600). El 9.06% de los neonatos nacidos en el período de estudio estuvieron potencialmente expuestos a contaminación minera.

**Figura B.5 Gráficos de coeficientes para medidas de robustez**



Nota. (G1) muestra completa, (G2) Aproximación espacial geográfica, (G3) Umbral de nueve meses. Se muestran los resultados solo para los modelos sin restricción ni ajustes (primer modelo de las tablas A.3, A.4 y A.5) de cada escenario analizado.