

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL MARCO DEL  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN CHALA – AREQUIPA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**JHONATAN MARTÍN JARAMILLO ORTIZ**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

## Document Information

Analyzed document	T_007_44895888_ T.pdf (D168116731)
Submitted	5/23/2023 8:27:00 PM
Submitted by	VICTOR FILIBERTO AGUILAR VIDANGOS
Submitter email	vaguilar@lamolina.edu.pe
Similarity	5%
Analysis address	vaguilar.unalm@analysis.urkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://www.researchgate.net/publication/329388875_Parte_III_Ponencias_Bloque_2A-Aplicaciones_...">https://www.researchgate.net/publication/329388875_Parte_III_Ponencias_Bloque_2A-Aplicaciones_...</a> Fetched: 2/8/2021 6:49:22 PM	 <b>14</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://estrucplan.com.ar/evaluacion-multicriterio-de-la-exposicion-al-riesgo-ambiental-median...">https://estrucplan.com.ar/evaluacion-multicriterio-de-la-exposicion-al-riesgo-ambiental-median...</a> Fetched: 2/8/2021 6:49:21 PM	 <b>13</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/_documentos/sipcyt/bfa005437.pdf">http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/_documentos/sipcyt/bfa005437.pdf</a> Fetched: 8/4/2021 5:48:00 AM	 <b>11</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.fao.org/peru/noticias/detail-events/es/c/1042970/">http://www.fao.org/peru/noticias/detail-events/es/c/1042970/</a> Fetched: 5/23/2023 8:30:00 PM	 <b>2</b>
<b>SA</b>	<b>546-Texto del artículo-1040-1-4-20181011.docx</b> Document 546-Texto del artículo-1040-1-4-20181011.docx (D42746032)	 <b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.minem.gob.pe/_publicacionesDownload.php?idPublicacion=574">http://www.minem.gob.pe/_publicacionesDownload.php?idPublicacion=574</a> Fetched: 5/23/2023 8:30:00 PM	 <b>4</b>
<b>SA</b>	<b>TFM Elsa Ccolqqe.pdf</b> Document TFM Elsa Ccolqqe.pdf (D56868042)	 <b>4</b>
<b>SA</b>	<b>13422-Luna Córdova, Henry John.pdf</b> Document 13422-Luna Córdova, Henry John.pdf (D99678113)	 <b>3</b>
<b>SA</b>	<b>12292-Mejia Bustillos, Aurelio Genaro_.pdf</b> Document 12292-Mejia Bustillos, Aurelio Genaro_.pdf (D40304988)	 <b>1</b>
<b>SA</b>	<b>8392-Londoña Soria, Jesús Hildebrandt.pdf</b> Document 8392-Londoña Soria, Jesús Hildebrandt.pdf (D35057410)	 <b>1</b>
<b>SA</b>	<b>Posgrado FIA-Tesis Nizama Victor v1.docx</b> Document Posgrado FIA-Tesis Nizama Victor v1.docx (D143725663)	 <b>1</b>

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**“EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL MARCO DEL  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN CHALA – AREQUIPA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. JHONATAN MARTÍN JARAMILLO ORTIZ**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Arq. VÍCTOR EDUARDO LINARES ZAFERSON

Presidente

Dr. VÍCTOR LEVINGSTON PEÑA GUILLÉN

Miembro

Ing. MANUEL HUMBERTO BARRENO GALLOSO

Miembro

Arq. VÍCTOR FILIBERTO AGUILAR VIDANGOS

Asesor

LIMA – PERÚ

2022

## Dedicatoria

---

A mis padres, Arcelinda y Jose, a mi hermana Valeria.

Mis logros, son los suyos, y este no hubiera sido posible sin las veces que fui constantemente alentado, apoyado, inspirado y comprendido.

A mi esposa, Sahara, tu amor y dedicación a nuestra familia. Lo que me impulsa a seguir adelante.

A mis amados abuelos, Arturo y Yolanda, Julio y Martina, con su cariño y guía, siempre me sentiré acompañado. A mis tíos, por sus confianza y apoyo. A los que ya no están conmigo.

Gracias.

## Agradecimientos

---

Mi eterna gratitud con Arq. Víctor Aguilar Vidangos por su asesoría y constante contribución al desarrollo de esta tesis, y a los miembros del jurado Arq. Eduardo Linares, Ing. Humberto Barreno y Dr. Víctor Peña por sus aportes y mejoras al mismo. Quienes, además, me han brindado oportunidades inolvidables de crecimiento profesional, por lo cual estaré siempre agradecido.

Asimismo, a los catedráticos de la facultad y en especial a los ingenieros Carlos Bravo, Miguel Málaga, Rosa Miglio, Saul Torres y Fredy Cáceres, de quienes pude aprender dentro y fuera de las aulas.

Finalmente, mi agradecimiento a los grandes profesionales y amigos, Ing. Rafael Ponce Vargas, Ing. Franco Arista Rivera y PhD. Oswald Eppers, a quienes debo la inspiración para este documento.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos de la investigación .....	2
1.1.1. Objetivo general .....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.2. Justificación de la investigación .....	2
1.2.1. Por conveniencia .....	2
1.2.2. Por relevancia social.....	3
1.2.3. Por el valor teórico .....	3
1.2.4. Por implicancias prácticas .....	3
1.3. Alcances y limitaciones del estudio.....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	5
2.2. Bases teóricas.....	7
2.2.1. Riesgos ambientales .....	7
2.2.2. Riesgo ambiental para la salud .....	9
2.2.3. La pequeña minería y minería artesanal en el Perú.....	10
2.2.4. Estratificación de la minería en el Perú.....	11
2.2.5. Minería informal y minería ilegal.....	11
2.2.6. Minería artesanal de oro en la zona sur de Perú.....	13
2.2.7. Minería artesanal en Chala .....	15
2.2.8. Sistema de Información Geográfica .....	15
2.2.9. Lógica difusa .....	17
2.2.10. Análisis multicriterio .....	22
2.2.11. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) .....	24
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>31</b>
3.1. Lugar y duración del estudio .....	31
3.2. Materiales y equipos .....	32
3.3. Variables analizadas .....	33
3.3.1. Variable independiente: Factores de riesgo ambiental para la salud del distrito	

de Chala .....	33
3.3.2. Variable dependiente: Aptitud para residir en el distrito de Chala .....	37
3.3.3. Riesgo ambiental para la salud .....	38
3.4. Procedimiento y análisis de la investigación .....	39
3.4.1. Fuentes de información .....	39
3.4.2. Análisis de los datos a través de la lógica difusa.....	39
3.4.3. Jerarquización de las variables .....	40
3.4.4. Evaluación del riesgo ambiental para la salud .....	40
3.4.5. Zonificación del territorio en función a la aptitud para residir.....	40
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>41</b>
4.1. Determinación de los factores de riesgo ambiental para la salud .....	41
4.1.1. Criterios de habitabilidad .....	41
4.1.2. Criterios de riesgo ambiental.....	54
4.2. Modelo territorial en base a los factores de riesgo ambiental y habitabilidad.....	75
4.3. Mapa de zonificación del territorio en función a la aptitud para residir .....	77
4.4. Discusión de resultados .....	84
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>88</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estratificación de la minería formal en el Perú según la Ley General de Minería (1992).....	11
Tabla 2: Concesiones mineras en Chala.....	15
Tabla 3: Clasificación de los modelos del SIG.....	16
Tabla 4: Funciones típicas de pertenencia difusa.....	22
Tabla 5: Comparación de métodos de evaluación multicriterio.....	24
Tabla 6: Escala de jerarquización de Saaty.....	28
Tabla 7: Asentamientos del área urbana del distrito de Chala – Arequipa.....	31
Tabla 8: Operacionalización de las variables empleadas en el modelo.....	38
Tabla 9: Indicadores de gestión del agua potable de la EPS SEDAPAR hasta 2018.....	42
Tabla 10: Índice de acceso al servicio de agua potable por cada urbanización en Chala ...	43
Tabla 11: Indicadores de gestión del alcantarillado de la EPS SEDAPAR hasta 2018.....	45
Tabla 12: Índice de acceso al servicio de alcantarillado por cada urbanización.....	46
Tabla 13: Índice de acceso al servicio eléctrico en red cada urbanización en Chala.....	49
Tabla 14: Resultados de monitoreos ambientales de plantas de procesamiento ubicadas en Chala.....	51
Tabla 15: Índice de calles asfaltadas en cada urbanización en Chala.....	52
Tabla 16: Plantas formales de procesamiento de oro ubicadas en Chala.....	57
Tabla 17: Plantas informales de procesamiento de oro ubicadas en Chala.....	62
Tabla 18: Matriz de comparación en pares y asignación de ponderación.....	76
Tabla 19: Resumen de los resultados.....	77
Tabla 20: Área de las urbanizaciones de Chala según el Riesgo Ambiental para la salud resultado de la evaluación.....	79
Tabla 21: Número de muestras ubicadas en zonas de Alta y Baja aptitud para residir.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de riesgo ambiental del Ministerio del Ambiente (Perú) para determinar el Riesgo Ambiental .....	8
Figura 2: Diferencias entre la minería ilegal, minería informal y minería formal .....	12
Figura 3: Ubicación de las principales vetas de oro en el sur medio del Perú .....	13
Figura 4: Quimbaletes y relave producido por la minería artesanal.....	14
Figura 5: Comparación entre la lógica difusa y la lógica clásica .....	19
Figura 6: Ejemplo de la transformación de la variable distancia a una fuente de contaminación hacia el grado de pertenencia difusa de tipo lineal.....	21
Figura 7: Esquema del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) .....	26
Figura 8: Esquema del modelo jerárquico .....	27
Figura 9: Propiedades de transitividad y proporcionalidad.....	29
Figura 10: Ubicación de la zona urbana del distrito de Chala (Chala Norte) – Arequipa...	32
Figura 11: Correspondencia entre la aptitud para residir en el territorio y el riesgo para la salud que conlleva .....	39
Figura 12: Zonas con acceso a agua potable .....	44
Figura 13: Zonas con acceso a alcantarillado subterráneo .....	47
Figura 14: Zonas con acceso a servicio de red eléctrica.....	50
Figura 15: Zonas con calles asfaltadas .....	53
Figura 16: Ubicación de quimbaletes en la zona urbana de Chala.....	56
Figura 17: Estrato minero de las plantas de procesamiento en Chala .....	59
Figura 18: Ubicación de plantas de procesamiento formales .....	61
Figura 19: Plantas de procesamiento informales en Chala, de acuerdo con proceso de formalización que siguen .....	64
Figura 20: Ubicación de plantas procesadoras informales .....	65
Figura 21: Clasificación de las plantas de procesamiento (quimbaletes y de cianuración) ubicadas en Chala.....	66
Figura 22: Ubicación de botaderos y rellenos sanitarios .....	68
Figura 23: Ubicación de cementerios .....	71
Figura 24: Ubicación de grifos .....	74
Figura 25: Resultado final de la zonificación en Chala.....	78

Figura 26: Ubicación de instituciones educativas (nivel inicial, primario, secundario y técnico) dentro de la zona urbana de Chala, según el resultado de la aptitud para residir.....	80
Figura 27: Ubicación de las muestras con contenido de arsénico en el estudio de MINAM y ARMA (2016) y la zonificación del riesgo ambiental para la salud en Chala.....	82
Figura 28: Ubicación de las muestras con contenido de plomo en el estudio de MINAM y ARMA (2016) y la zonificación del riesgo ambiental para la salud en Chala.	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Índice de acrónimos y palabras claves.....	96
Anexo 2: Criterios y variables aplicadas al modelo .....	97
Anexo 3: Variables y sus funciones de pertenencia .....	99
Anexo 4: Esquema del modelo jerárquico de la investigación.....	101

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal incorporar la metodología del análisis multicriterio por medio de un sistema de información geográfica como herramienta para la evaluación del riesgo ambiental, en el marco del ordenamiento territorial en el distrito de Chala, provincia de Caravelí, región Arequipa; que cuenta con una importante actividad minera, para lo cual se diseñó una investigación descriptiva de enfoque como principal herramienta a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con información disponible del ámbito geográfico del estudio.

Por este motivo, se planteó como variable principal el riesgo ambiental para la salud; y como componentes, se definieron tanto factores relacionados a la contaminación derivada de la actividad minera local, como al desarrollo urbano presente en cada localidad evaluada. Los valores asociados a estos factores fueron procesados en un modelo de evaluación multicriterio que emplea la lógica difusa y el análisis jerárquico, el cual fue propuesto por De Pietri *et al.* (2011), dando como resultado el riesgo para la salud en cada punto del área de estudio, mediante el cual se pudo calcular la aptitud para residir, dada la correlación entre estas dos variables. Mediante el *software QGIS*, se pudo proponer un mapa de áreas aptas para residir en el distrito de Chala.

Los resultados muestran que la condición «baja aptitud para residir» está en 60 % del área de estudio, lo que corresponde a «Chala Norte» y «La Aguadita». Estas zonas tienen una cantidad de población importante; sobre todo, en las zonas bajas, mientras que la zona de «Chala Sur» muestra en casi todo su territorio la condición de alta aptitud para residir. Como conclusión principal se estableció que la aplicación del método de evaluación multicriterio aplicado en este estudio se valida como una herramienta efectiva y de empleo inicial en la evaluación ambiental para zonas urbanas de territorios y/o regiones que presenten actividad minera.

**Palabras clave:** Distrito de Chala, Sistemas de Información Geográfica (SIG), minería, contaminación ambiental, lógica difusa, riesgo ambiental para la salud.

## ABSTRACT

The main objective of this research work was to incorporate the methodology of multicriteria analysis through a geographic information system as a tool for evaluating environmental risk, within the framework of land use planning in the district of Chala, province of Caravelí, region Arequipa ; which has an important mining activity, for which a descriptive research approach was designed as the main tool for Geographic Information Systems (GIS) with available information from the geographical scope of the study.

The main variable was the environmental risk for health; and as components, both factors related to the contamination derived from the local mining activity, as well as the urban development present in each evaluated locality were defined.

The values associated with these factors were processed in a multi-criteria evaluation model that uses fuzzy logic and hierarchical analysis, which was proposed by De Pietri *et al.* (2011), resulting in the health risk at each point in the study area, through which the ability to reside could be calculated, given the inverse relationship between these two variables. Using the QGIS software, it was possible to propose a map of suitable areas to reside in the district of Chala. The results show that the condition «low aptitude to reside» is in 60 % of the study area, which corresponds to «Chala Norte» and «La Aguadita».

These areas have a significant amount of population; above all, in the low-lying areas, while the «Chala Sur» area shows in almost all its territory the condition of high aptitude to reside. As a main conclusion, it was established that the application of the multi-criteria evaluation method applied in this study is validated as an effective tool and of initial use in the environmental evaluation for urban areas of territories and / or regions that present mining activity.

**Keywords:** district of Chala, Geographic Information Systems (GIS), mining, contamination environmental, fuzzy logic, environmental risk for health.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental tiene una relación directa con el deterioro de la salud de las personas. Asimismo, en países en vías de desarrollo la afectación de la salud por contaminación ambiental es más frecuente, porque presta menos atención a la protección del medio ambiente o las regulaciones ambientales son menos estrictas (Shiru, 2001; López, Santos, Quezada, Segura y Pérez, 2016; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019). El Perú forma parte de los países donde es necesario mejorar la aplicación del marco de protección medioambiental; sobre los cuales, se desarrollan las actividades extractivas y productivas de pequeña escala. La minería es una de las actividades empresariales principales a nivel nacional, de gran importancia económica, y de gran preocupación por sus impactos sociales, culturales, y sobre todo medioambientales.

La comunidad de Chala se encuentra ubicada en el distrito del mismo nombre, su extensión es de 404 hectáreas, dividida en 16 asentamientos humanos (AA.HH.), con una población de 15 000 habitantes; pertenece a la provincia de Caravelí, en la región Arequipa. Se ubica en el kilómetro 600 de la Panamericana Sur, a ocho horas de la ciudad de Lima. La pequeña minería (formal e informal) es la principal actividad económica de la comunidad de Chala, y como tal, ha contribuido directamente a la expansión del uso del suelo y el aumento de la población; no obstante, y como consecuencia, al aumento de la exposición al riesgo ambiental y el deterioro de la salud de la población.

Las investigaciones que buscan establecer una relación directa entre los factores de riesgo ambiental y los efectos perjudiciales para la salud de la población son complicadas de llevar a cabo por las dificultades que plantea su ejecución «Debido a que, entre otras circunstancias, la acumulación de evidencias toma tiempos prolongados, la variabilidad en la exposición individual, y el hecho de que los síntomas específicos pueden corresponder a exposiciones diferentes. Por ello, la importancia de elaborar un modelo que integre los factores de riesgo ambiental que constituyen una amenaza para la salud» (De Pietri, Dietrich, Mayo y Carcagno, 2011).

El propósito de esta investigación fue elaborar un modelo espacial que integra factores de riesgo ambiental y condiciones de habitabilidad del territorio, que deterioran la salud de la población de la comunidad Chala; utilizando la metodología de análisis multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica. El resultado será un análisis cualitativo que clasificará el territorio en función del nivel de riesgo ambiental para la salud al que la población se encuentra expuesta. Este resultado será una herramienta de orientación para la toma de decisiones sobre el territorio; es decir, servirá para orientar y ordenar el futuro desarrollo, tanto de la expansión urbana como de las actividades mineras.

## **1.1. Objetivos de la investigación**

### **1.1.1. Objetivo general**

Incorporar la metodología del análisis multicriterio por medio de un sistema de información geográfica como herramienta para la evaluación del riesgo ambiental, en el marco del ordenamiento territorial en el distrito de Chala, provincia Caravelí, región Arequipa.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Generar un modelo territorial que integre los factores de riesgo ambiental (actividades extractivas e industriales) y condiciones de habitabilidad (infraestructura de servicios públicos) en el distrito de Chala, provincia Caravelí, región Arequipa.
- Zonificar el territorio en función a la aptitud para residir en el distrito de Chala, provincia Caravelí, región Arequipa.

## **1.2. Justificación de la investigación**

### **1.2.1. Por conveniencia**

La ciudad de Chala ha desarrollado un proceso simultáneo de expansión urbana y crecimiento de la actividad minera en los últimos 10 años; como consecuencia de este crecimiento desordenado, las plantas de procesamiento de oro se ubican muy cerca a la población. Esta situación, presenta un potencial riesgo a la salud y al ambiente, no aconsejable desde ningún punto de vista, el cual debe ser evaluado para plantear estrategias

de ordenamiento territorial que permitan proteger la salud de los pobladores.

### **1.2.2. Por relevancia social**

Alrededor de 15 millares de personas desarrollan su vida en el distrito de Chala y se exponen a condiciones perjudiciales derivadas de la actividad minera que predomina en la región. Estudios que permitan clasificar las zonas urbanas del distrito, de acuerdo con el potencial riesgo para la salud que presentan, por sus características urbanísticas y ubicación con respecto a los centros de actividad minera, fuentes contaminantes con gran perjuicio a la salud humana. Brindar esta información a los pobladores y autoridades darán oportunidad a localizar los centros urbanísticos en lugares seguros que permitan mejores condiciones sanitarias y una mejor calidad de vida.

### **1.2.3. Por el valor teórico**

El presente estudio busca validar el modelo de análisis multicriterio propuesto por De Pietri (2011), basado en la asignación de valores a los componentes de una variable resultado mediante la lógica difusa en función a determinadas características como disponibilidad de un recurso o servicio, o la ubicación de una o más fuentes de contaminación (Establecimientos industriales, botaderos, estaciones de servicio, cementerios, servicios públicos de agua y saneamiento). Además, se recalca la gran importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el enorme potencial en investigaciones que involucren, por ejemplo, la segregación territorial de una determinada área en base a sus características, en este caso el peligro para la salud de las fuentes de contaminación ambiental y los factores de habitabilidad encontrados.

### **1.2.4. Por implicancias prácticas**

En el presente caso de estudio, el uso de la metodología tradicional representa un problema porque ocasiona pérdida de tiempo y consumo de recursos para financiar las investigaciones (Proactivo, 2021). Este estudio permite evaluar dicho riesgo ambiental mediante el análisis multicriterio en base a la información proporcionada por los SIG, lo que implica resultados confiables, rápidos y que sean la base para investigaciones más detalladas y específicas en la caracterización de impactos ambientales que afecten la salud de las personas.

### **1.3. Alcances y limitaciones del estudio**

El ámbito del presente estudio se circunscribe a nivel metodológico al análisis de los riesgos ambientales que afectan la salud de las personas, en el sentido de interrelacionar de manera particular la actividad minera y su impacto sobre la salud de la población. A nivel geográfico se limita al área urbana del distrito de Chala, provincia Caravelí, región Arequipa.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes de la investigación

De Pietri *et al.* (2011), plantearon la investigación en territorio argentino llamada «Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina», con el objetivo de elaborar un modelo espacial que integre los factores ambientales que constituyen una amenaza para la salud, de aplicación en la cuenca del río Matanza-Riachuelo (CMR). Para poder llevar a cabo esto, se implementaron procedimientos de evaluación multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica para obtener una zonificación del territorio basada en grados de aptitud para residir. Se georreferenciaron variables que caracterizan las condiciones de habitabilidad de las viviendas y las posibles fuentes de contaminación de la cuenca. Se extrajo información de salud de la Encuesta de Factores de Riesgo (EFARS) para medir el riesgo relativo de vivir en zonas no aptas (población expuesta) en relación con las zonas aptas (población no expuesta). Como resultados se obtuvo que la CMR presenta 60 % de su superficie en condición de aptitud, situación que afecta a 40 % de la población residente. El resto de la población habita en un territorio no apto y 6 % se encuentra en la condición más desfavorable de la cuenca. Las condiciones ambientales adversas para la salud presentes en las zonas no aptas se hicieron manifiestas en el estado de salud de los entrevistados a través de tres de las patologías contempladas: diarreas, enfermedades respiratorias y cáncer. Por lo tanto, se pudo concluir que se obtuvo un diagnóstico regional válido como información de apoyo en la toma de decisiones. La consideración de la cuenca como una unidad de análisis facilitó la aplicación del protocolo expuesto para medir la magnitud del riesgo en forma integral y, de esta manera, establecer prioridades.

Monroy, Diaz-Barriga, Razo y Carrizales (2002), realizaron la investigación en México con el título «Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados, y análisis de riesgo en salud en Villa La Paz», la cual tuvo como objetivo principal conocer niveles de contaminación por arsénico y metales pasados en la región y el riesgo para la salud que

representan a la comunidad. Para lograr el objetivo se procedió con la toma de los niveles de contaminación en suelo y agua, y se comparó con los niveles máximos recomendados para poder establecer el nivel de impacto al medio ambiente, y finalmente el riesgo para la salud que implica a los pobladores locales estos niveles de contaminación. Los resultados muestran datos alarmantes, sobre todo en la exposición a metales pesados. El análisis de concentraciones muestra que en una muestra de 175 niños el 10 % supero los 15 ug/L de plomo en la sangre, y de 112, el 70 % mostró un nivel de creatinina de arsénico en orina superior a los 50 ug/g, lo cual son signos claros de envenenamiento por acción de estos químicos.

La Autoridad Regional Medioambiental de Arequipa - ARMA (2014), realizó la investigación titulada «*Evaluación del riesgo ambiental para la salud humana y el medio ambiente en Mollehuaca – Arequipa*», donde se identificó que la población de Mollehuaca está expuesta a diferentes fuentes de contaminación conteniendo concentraciones de mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb) y cobre (Cu), que en el caso de As y Hg resultan en riesgos para la salud que en su conjunto probablemente tienen impactos negativos para la salud humana. Como principal impacto se identificó la actividad minera artesanal con la explotación de minerales que contienen metales pesados y metaloides, la amalgamación con Hg y la evaporación del Hg (quema de amalgama). El riesgo asociado con estas actividades sin el uso de EPP adecuado es considerado no aceptable porque probablemente tiene efectos negativos para la salud de los mineros y otras personas afectadas. El principal riesgo por la exposición a los contaminantes presentes en el área industrial histórica es el riesgo de cáncer por la presencia de As en el suelo superficial y en el material particulado suspendido por el viento. Mientras un riesgo de cáncer de uno en diez mil personas todavía es considerado aceptable, el riesgo de enfermarse durante su vida en Mollehuaca alcanza un rango de uno en cuatro mil. El riesgo no cancerígeno por la exposición a vapores de Hg en la cercanía al área contaminada es incrementado. Tomando en cuenta la elevada exposición ocupacional de la población a sustancias tóxicas por las actividades mineras, se recomienda en un enfoque integral reducir tanto la exposición ocupacional como las concentraciones de Hg y As en el área industrial histórica para lograr un riesgo aceptable para la población de Mollehuaca.

El Ministerio del Ambiente – MINAM, y Autoridad Regional Medioambiental de Arequipa – ARMA (2016), realizaron el trabajo con título «*Evaluación preliminar de la*

*contaminación ambiental causada por la pequeña minería y minería artesanal en la zona urbana del distrito de Chala*», con el objetivo de identificar los potenciales riesgos para la salud de los pobladores de Chala, causados por actividades mineras actuales e históricas en proximidad a la población de Chala. El trabajo incluyó el levantamiento de información disponible en distintas organizaciones regionales y locales de Chala y el muestreo ambiental de suelos, sedimentos, aguas y polvo sedimentable para realizar el análisis de metales pesados, cianuro y otros ensayos relevantes como la evaluación preliminar de la biodisponibilidad de los contaminantes. Finalmente se concluyó que el arsénico, el cobre, el mercurio y el plomo son los elementos contaminantes presentes en el suelo, el polvo sedimentable y el agua de la ciudad.

Ferrer (2015) realizó el estudio titulado *«Seguimiento en el tiempo de la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros»*, el cual tuvo como objetivo presentar una metodología para la evaluación de impacto ambiental de proyectos mineros. Para ello, fue realizado un estudio de los métodos y procedimientos más frecuentemente utilizados para evaluar los impactos ambientales de la minería, lo que permitió detectar las deficiencias que tienen lugar en el desarrollo del proceso. Asimismo, fue evaluada la posibilidad de incluir la utilización de técnicas difusas. Como resultado, se describe una metodología de evaluación de impacto ambiental para proyectos mineros utilizando técnicas difusas, que permiten realizar el seguimiento en el tiempo del impacto ambiental. Además, esta metodología permite: identificar las variaciones que se produzcan en el entorno del emplazamiento del proyecto, conocer el estado del medio ambiente en momentos dados de la ejecución del proyecto, comprobar la efectividad de las medidas correctoras aplicadas, y de esa manera valorar la necesidad de incluir cambios al proyecto.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Riesgos ambientales**

En el Perú se tienen dos referencias respecto a la definición del riesgo ambiental. Ambas han sido emitidas por el Ministerio del Ambiente, cuya función es formular, planificar, dirigir, ejecutar, supervisar y evaluar la Política Nacional del Ambiente. Este ministerio fue creado en el 2008 (MINAM, 2018).

Según la «*Guía de evaluación del riesgo ambiental*» define el riesgo ambiental como la probabilidad de ocurrencia de que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico (MINAM, 2010).

Mientras que en la «*Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente, en sitios contaminados*», toma para sí la definición del riesgo ambiental como la conjunción de tres componentes: los contaminantes, las rutas o vías de exposición y los receptores. Es decir, el riesgo ambiental (a la salud humana o al ambiente) estará en función al producto de la concentración del compuesto químico en el ambiente, las tasas de ingesta de los receptores para cada medio (suelo, aire, agua) y la toxicidad del agente químico de interés, la interpretación del modelo se presenta en la Figura 1 (MINAM, 2015).



**Figura 1: Modelo de riesgo ambiental del Ministerio del Ambiente (Perú) para determinar el Riesgo Ambiental**

FUENTE: Adaptado del MINAM (2015)

### **2.2.2. Riesgo ambiental para la salud**

El «*Informe sobre la salud del mundo*» define el riesgo como la probabilidad de un resultado sanitario adverso, o un factor que aumenta esa probabilidad (OMS, 2002). La atención a los riesgos ambientales para la salud es de suma importancia, estadísticas del informe realizado por la OMS, demuestran que el 24 % de la carga de morbilidad mundial y el 23 % de todos los fallecimientos pueden atribuirse a factores ambientales. En los niños de 0 a 14 años, un 36 % de las muertes se deben a causas del medio ambiente (OMS, 2006). Si bien es cierto, los efectos nocivos de la contaminación son los más palpables cuando se habla de riesgo ambiental para la salud; otro factor importante es el acceso a servicios básicos de calidad. La FAO señaló que en el Perú el 50 % de los casos de anemia se deben a la falta de acceso al agua potable y saneamiento (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017).

Por otra parte, los lineamientos de la Política Nacional de Salud Ambiental 2011-2020, del Ministerio de Salud del Perú, define la salud ambiental como el conjunto de componentes externos al ser humano, en los que es necesario actuar para garantizar la ausencia de determinados tipos de enfermedades, satisfaciendo a la vez requerimientos de vivienda, ocupación, alimentación y recreación adecuadas, entre otros (Ministerio de Salud [MINSA], 2011).

MINSA (2011) indica que los componentes para la evaluación de la salud ambiental son:

- Agua para consumo humano y recursos hídricos
- Contaminación del aire
- Inocuidad de los alimentos
- Vectores y roedores en salud pública
- Residuos sólidos
- Control sanitario con la zoonosis
- Salud ocupacional
- Sustancias y productos peligrosos para la salud
- Salud ambiental en emergencia y desastres naturales

Finalmente, el Ministerio de Salud señala que la Política Nacional de Salud Ambiental, contiene los siguientes lineamientos:

- Primera política: asegurar la vigilancia de la calidad del agua de consumo humano para los ciudadanos del Perú
- Segunda política: garantía de la vigilancia de la inocuidad de los alimentos
- Tercera política: vigilancia de la calidad del aire para los ciudadanos del Perú
- Cuarta política: vigilancia de peligros y alertas en salud ambiental
- Quinta política: fortalecimiento de la descentralización en salud ambiental
- Sexta política: gestión en salud ambiental en emergencias y desastres

### **2.2.3. La pequeña minería y minería artesanal en el Perú**

La minería es uno de los sectores más importantes para la economía del país. El Perú es el primer productor de oro en la región y sexto en el mundo. Su producción anual promedio es de 155 toneladas y se estima que el 20 % (31 toneladas) tiene como fuente la minería artesanal o pequeña minería (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía [SNMPE], 2018; Ernst and Young [E&Y], 2019).

La minería artesanal, pequeña minería o minería de pequeña escala (MAPE), surgió y se desarrolló a partir de la década de 1980, como una actividad económica alternativa y un medio de subsistencia para poblaciones en pobreza extrema y comunidades campesinas, donde la oportunidad de otras actividades económicas es limitada. Sin embargo, aunque se logró consolidar como una actividad importante en algunas zonas del interior del país, esta actividad se caracteriza por su menor productividad, debido al uso intensivo de mano de obra, limitado uso de equipamiento mecánico y escaso desarrollo tecnológico (Pachas, 2005: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2005; Instituto Peruano de Economía [IPE], 2017).

La MAPE en el Perú brinda una oportunidad de ingresos económicos a más de 500 mil mineros artesanales y sus familias. Este tipo de minería se desarrolla en 24 departamentos del país y con especial intensidad en Madre de Dios, Puno, Arequipa, Ayacucho, Ica y Piura (Escobar, Arista y Jaramillo, 2018).

#### 2.2.4. Estratificación de la minería en el Perú

Si bien no se tiene un consenso mundial respecto a las características de la Pequeña Minería y Minería Artesanal, en Perú el Decreto Supremo N.º 014-92-EM – Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, establece una clasificación de la minería en función de su capacidad productiva y la cantidad de hectáreas en concesión. En ese sentido, se estratifica la minería en gran minería, mediana minería, pequeña minería y minería artesanal, la que se muestra en la Tabla 1 (Medina, 2015; Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2018).

**Tabla 1: Estratificación de la minería formal en el Perú según la Ley General de Minería (1992)**

Estrato	Tamaño de concesión	Capacidad productiva
Gran minería	Más de 2000 ha	Más de 5000 Tm/día
Mediana minería	Más de 2000 ha	Hasta 5000 Tm/día
Pequeña minería	Hasta 2000 ha	Hasta 350 Tm/día
Minería artesanal	Hasta 1000 ha	Hasta 25 Tm/día

FUENTE: Adaptado de MINEM (2018)

#### 2.2.5. Minería informal y minería ilegal

El proceso de formalización iniciado en 2012 tuvo como uno de sus aciertos el separar la minería ilegal de la minería informal con las definiciones del Decreto Legislativo N.º 1105, Perú es uno de los primeros países en establecer una diferenciación y penalizar con cárcel a esta actividad (Ipenza, 2012). Las definiciones actuales que el Perú ha dado para diferenciar a la minería ilegal, minería informal y minería formal son las siguientes:

**Minería formal:** «Actividad ejercida por persona, natural o jurídica, que cuenta con autorización de inicio o reinicio de actividades de exploración, explotación y/o beneficio de minerales y/o título de concesión de beneficio emitida por la autoridad competente» (Art. 3ro - DL 1103) y (MINEM, 2018, p. 136).

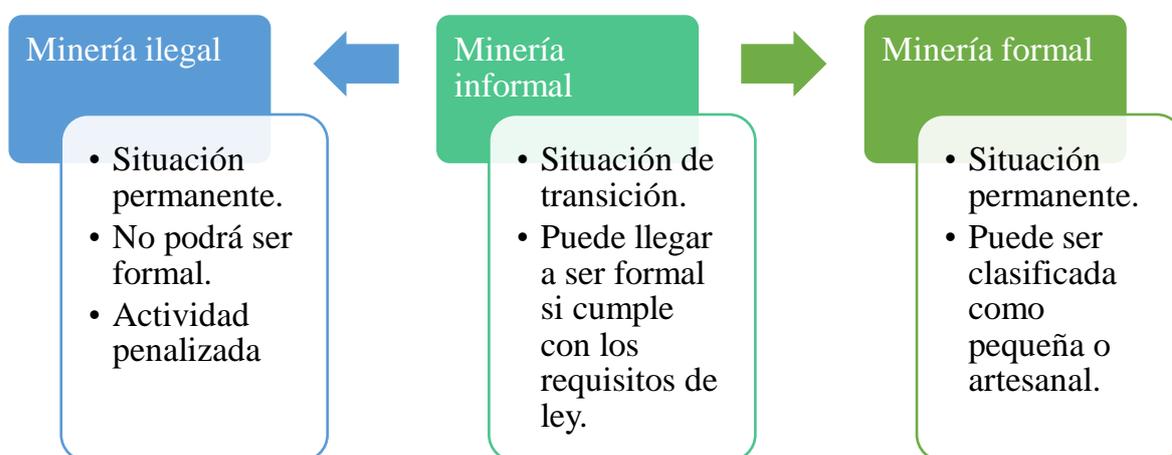
**Minería informal:** «Actividad minera realizada en zonas no prohibidas por aquella persona, natural o jurídica, que se encuentre inscrita en el Registro Integral de Formalización Minera cumpliendo con las normas de carácter administrativo y, además, con las condiciones previstas en el artículo 91 del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado

por el Decreto Supremo N.º 014-92-EM» (Art. 2do – DL 1336) y (MINEM, 2018, p. 136).

**Minería ilegal:** «Actividad minera ejercida por persona, natural o jurídica, o grupo de personas organizadas para ejercer dicha actividad, usando equipo y maquinaria que no corresponde a las características de la actividad minera que desarrolla (Pequeño Productor Minero o Productor Minero Artesanal) o sin cumplir con las exigencias de las normas de carácter administrativo, técnico, social y medioambiental que rigen dichas actividades, o que se realiza en zonas en las que esté prohibido su ejercicio. Sin perjuicio de lo anterior, toda actividad minera ejercida en zonas en las que esté prohibido el ejercicio de actividad minera, se considera ilegal» (Art. 2do – DL 1336) y (MINEM, 2018, p. 240). Los mineros que logren culminar con el proceso de formalización podrán acceder a beneficios económicos al ser clasificada por su tamaño como minería artesanal o pequeña minería (Ipenza, 2012).

En 2016, a través de los Decretos Legislativos 1293 y 1336, se inició un nuevo proceso de formalización denominado «Proceso Integral de Formalización» en el que se inscribieron alrededor de 55 000 mineros que continúan en el camino hacia la formalización. Arequipa es el departamento con mayor número de mineros inscritos en este proceso (11 862 mineros inscritos) (MINEM, 2018).

A fin de entender los diversos contextos y definiciones legales con los que se diferencia a la minería en este proceso, se presenta la Figura 2.



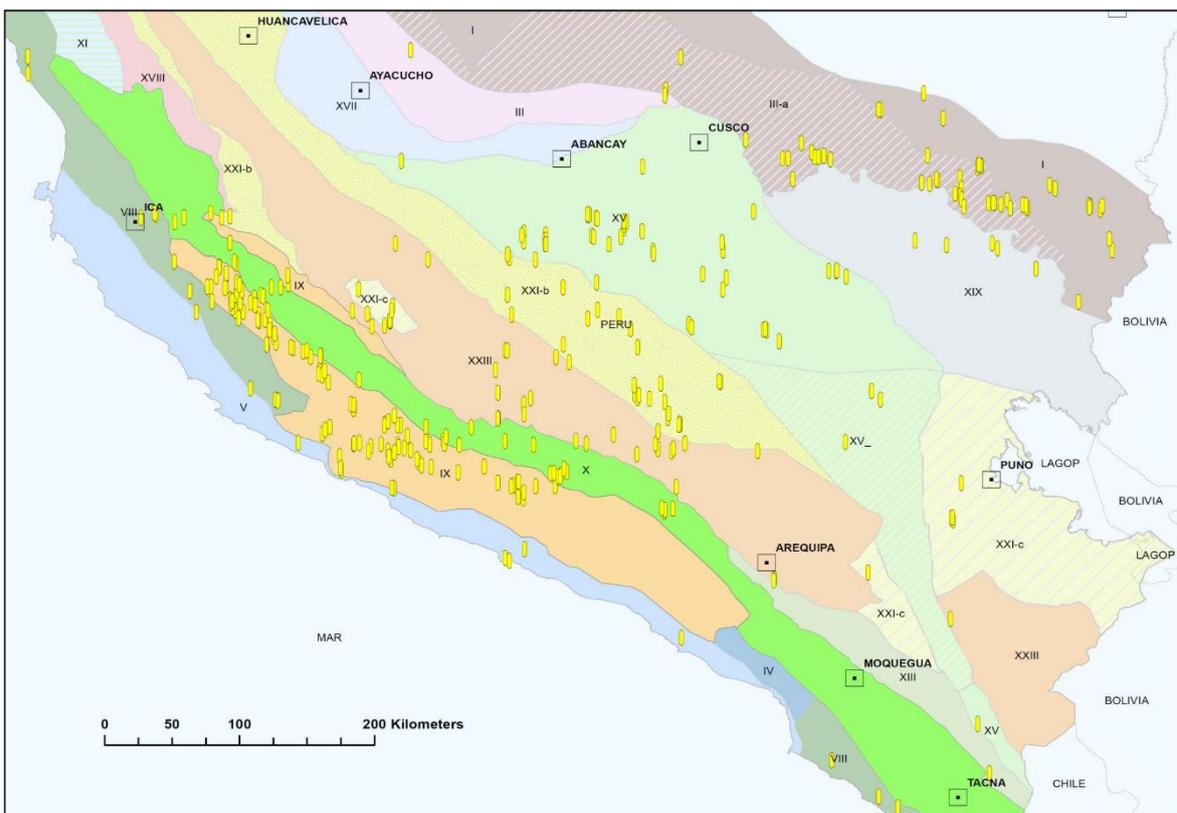
**Figura 2: Diferencias entre la minería ilegal, minería informal y minería formal**

FUENTE: Adaptado de Ipenza (2012).

### 2.2.6. Minería artesanal de oro en la zona sur de Perú

La MAPE de oro en el Perú se realiza en filones o vetas angostas (tipo Arequipa o Ayacucho) y en yacimientos aluviales (tipo Madre de Dios o Puno). La denominada «Zona Sur» desarrolla una minería subterránea donde se extrae mineral de vetas delgadas o filones (de entre 5 y 30 cm de ancho). La «Zona Sur» o «Zona del Sur Medio» abarca el sur de Nazca, el norte y noroeste de Arequipa, el sur de Ayacucho y Apurímac como se muestra en la Figura 3 (INGEMMET, 2005; Gálvez, 2016).

Los yacimientos auríferos en la zona sur media de la costa peruana son primarios, es decir, vetas muy delgadas en rocas volcánicas o sedimentarias. La composición mineralógica predominante de estas vetas es simple, consiste esencialmente en cuarzo y pirita aurífera. El contenido de oro o ley de mineral común en estas zonas es de entre 1 a 3 onza/tonelada corta (INGEMMET, 2005).



**Figura 3: Ubicación de las principales vetas de oro en el sur medio del Perú**

FUENTE: Adaptado de Gálvez (2016)

Los mineros artesanales producen oro físico (oro refogado) utilizando como proceso metalúrgico la amalgamación con mercurio. Los mineros muelen el mineral utilizando un artefacto llamado «quimbaletes», que consiste en dos piedras de gran tamaño ligeramente ovaladas a manera de mortero que se utiliza para moler el mineral e integrarlo con el mercurio en un proceso mecánico rudimentario. Una planta de procesamiento con quimbaletes se muestra en la Figura 4 (Kuramoto, 2001; Wotruba y Vasters, 2002).

La amalgamación tiene baja recuperación de oro y alta pérdida de mercurio. Se estima que solo se logra recuperar un 30 % del contenido de oro, el resto se traslada al relave junto con el mercurio triturado. Debido a esto, el relave de amalgamación tiene valor comercial que las plantas de lixiviación con cianuro, como las ubicadas en Chala y Nazca, pueden aprovechar. De esta forma, el mercurio llega a las relaveras convirtiéndolas en potenciales fuentes de contaminación (INGEMMET, 2005; (Pachas, 2011; Alianza por la Minería Responsable [ARM], 2016).



**Figura 4: Quimbaletes y relave producido por la minería artesanal**

### 2.2.7. Minería artesanal en Chala

Dentro de la jurisdicción del distrito de Chala (Arequipa–Perú), la principal actividad económica es el procesamiento metalúrgico de mineral de oro. Se ubicó la existencia y funcionamiento de 10 plantas de procesamiento formales. Por otra parte, el INGEMMET, reporta que el 62 % del área total del distrito está destinada a actividades mineras. En la Tabla 2 se muestran las concesiones mineras y concesiones de beneficio (procesamiento) que existen en el distrito y el área que ocupan (MINAM y ARMA, 2016).

**Tabla 2: Concesiones mineras en Chala**

Tipo de concesión	Cantidad	Área (ha)
Planta de beneficio	10	289.61
Derecho minero titulado	45	12 650.46
Petitorio minero	20	10 800.00

FUENTE: Adaptado de INGEMMET (2018). Nota. El área total es 23 738.07 hectáreas.

Un segundo indicador de la relevancia de la actividad minera es la presencia de registros del proceso de formalización integral, según el Ministerio de Energía y Minas, en Chala se encuentran 48 mineros en proceso de formalización y 9 de estos se refieren a plantas de lixiviación con cianuro. Por otra parte, en Chala también existe minería ilegal, ya que se realiza procesamiento metalúrgico en zonas urbanas (MINAM & ARMA, 2016) y (MINEM, 2018).

### 2.2.8. Sistema de Información Geográfica

El concepto de Sistema de Información Geográfica (SIG) es muy amplio y varía según los usos, objetivos, estructura o su entorno. Un SIG permite la recolección, manipulación, transformación, análisis y despliegue de información con una referencia en el espacio, cuyas técnicas facilitan el análisis conjunto de las variables territoriales que el usuario considera necesarias para lograr una representación (modelo) del territorio (Garfias, Castillo, & Yañez, 2012).

Los SIG pueden ser utilizados para un manejo más eficiente de la administración y los servicios públicos. En lo que se refiere a la administración pública, los SIG son utilizados para la planificación territorial, los recursos naturales, monitoreos ambientales, gestión

catastral, transporte, obras públicas, planes de emergencias e infraestructura de servicios (Javier, 2015).

#### **a. Modelo SIG**

Un modelo se define como una representación simplificada de la realidad que permita comprenderla mejor, como ideal o futuro escenario esperado. Los modelos, según los medios de construcción elegidos, se clasifican como modelo físico o conceptual, una breve descripción de estos se presenta en la Tabla 3 (Javier, 2015).

Los datos para un modelo SIG se obtienen del mundo real, y es aquí donde se aplican los resultados del análisis espacial, por ello, debe existir una constante correspondencia entre ambas partes. El SIG es una herramienta que permite crear escenarios en otra realidad y generar resultados que luego podrán usarse en el mundo real (Javier, 2015).

**Tabla 3: Clasificación de los modelos del SIG**

<b>Modelo</b>	<b>Descripción</b>
Modelo Físico	Las características reales se representan por las mismas propiedades en escala reducida (modelo icónico) o análogas a partir de diferentes propiedades que se han reducido con diferentes convenciones de transformación (modelo analógico).
Modelo Conceptual	Las características reales se representan por el lenguaje oral o escrito (modelo verbal) o por símbolos lógicos y operaciones entre ellos (modelo matemático).

FUENTE: Adaptado de Javier (2015)

#### **b. Datos cartográficos**

Los datos geográficos describen características y recursos de la Tierra. Se capturan para la resolución de problemas y para la toma de decisiones asociados con la geografía, es decir, con la localización, la distribución y las relaciones espaciales dentro de un entorno geográfico. Los datos geográficos son la base de todo SIG. Los SIG facilitan el almacenamiento, gestión, análisis y representación de los datos geoespaciales. Este tipo de datos se refiere, por ejemplo, a modelos digitales del terreno, vegetación, tipo de suelo, población y cualquier otro fenómeno localizado sobre la superficie de la tierra. Según su estructura se clasifican en información ráster y vectorial (Pérez, Botella, Muñoz, Olivella, Olmedillas y Rodríguez, 2011).

Entonces, la información espacial se entiende como la representación de los objetos espaciales en una capa temática; estos objetos se representan en función de la escala y características presentes en la realidad. De acuerdo con sus propiedades geométricas, esta puede representarse en una capa vectorial por medio de puntos, líneas y áreas en el modelo de datos vectorial o ráster (Garcés, 2015).

En el modelo de datos vectorial, la información del mundo real es representada por puntos y líneas que definen sus límites o fronteras, estableciendo un sistema de coordenadas (X, Y) para localizar cada objeto espacial en una capa. En este modelo de datos, el espacio tiene un carácter continuo; por ejemplo, las áreas internas a un polígono pertenecen a un elemento único, siendo representados, los elementos por sus fronteras; las cuales se definen explícitamente. En este modelo, la asignación de valores se realiza a través de una tabla de atributos asociada a cada capa de datos espaciales en la cual una «etiqueta» identifica cada objeto espacial (Garcés, 2015).

Mientras que, en el modelo de datos ráster, el espacio es representado por un conjunto de unidades homogéneas llamadas celdas o píxeles, las cuales representan unidades homogéneas de información espacial; estas establecen su localización por un sistema de filas y columnas. Cada una de estas celdas tiene un valor o código asignado correspondiente al tipo de información temática que representa (Garcés, 2015).

Normalmente cuando se trata de la inclusión de un conjunto de factores que condicionan directamente la aptitud de un territorio, se utiliza el análisis multicriterio; para ayudar en procesos de análisis espacial y obtención de resultados acordes al cumplimiento de cada uno de los criterios definidos previamente (Barredo, 1996).

### **2.2.9. Lógica difusa**

El concepto de *Lógica difusa* fue creado por Lofti A. Zadeh, catedrático de la Universidad de *Berkeley* (California - EUA). En su propuesta, la *Lógica difusa* fue presentada como una forma de procesamiento de información en la que los datos podrían tener asociados un grado de pertenencia parcial a conjuntos. Este concepto fue expuesto por Lofti A. Zadeh en el año

de 1965, el artículo se titula «*Fuzzy Sets*» y fue publicado en la revista *Information and Control* (López, 2001).

El mismo Zadeh publica en 1971 el artículo, «*Quantitative Fuzzy Semantics*», en donde introduce los elementos formales que acabarían componiendo el cuerpo de la doctrina de la *Lógica difusa* y sus aplicaciones tal como se conocen en la actualidad (González, 2012).

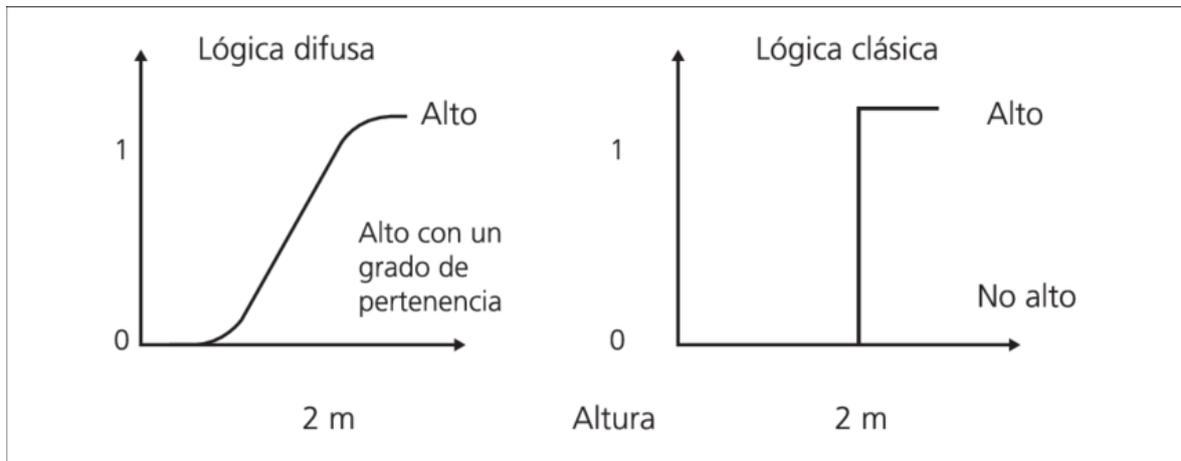
La *lógica difusa* es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta, en general la *Lógica difusa* imita como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas. Una de las ventajas de la *Lógica difusa* es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella tanto en *hardware* como en *software* o en combinación de ambos. Su éxito se debe principalmente a la posibilidad de resolver problemas de una gran complejidad y poco definidos que, mediante métodos tradicionales, son difíciles de solucionar ya que trabajan con información definida y precisa que solo admite la pertenencia o no de un elemento a un conjunto (López, 2001).

La premisa básica de la *Lógica difusa* es que los datos espaciales tienen imprecisiones en sus atributos y en su geometría. Por lo que, para describir u ordenar fenómenos en el entorno SIG, por lo general, se deben separar en clases o categorías.

El uso del suelo, tipo de suelo, tipo de carretera y de vegetación son ejemplos de clases o categorías. En los conjuntos nítidos, la pertenencia es comúnmente binaria (si o no) y el fenómeno estará dentro o fuera de la clase o categoría.

No obstante, debido a la imprecisión del pensamiento, las reglas ambiguas de caracterización, y la ambivalencia, los límites entre clases no son siempre claros. La *Lógica difusa* cambia el paradigma de pertenencia o no pertenencia a un conjunto, busca representar mejor la realidad, proponiendo una representación gradual que varía en el intervalo del 0 a 1. Tal como sucede en el efecto de un fenómeno, que varía gradualmente en función a la distancia desde el foco, fuente o punto de origen (ESRI, 2014).

En ese sentido, la aplicación de esta metodología en esta investigación permite definir zonas de intersección ajustadas a la realidad, es decir, considerando efectos graduales en función a la ubicación que se está analizando (Ver Figura 5).



**Figura 5: Comparación entre la lógica difusa y la lógica clásica**

FUENTE: García, Payan y Venegas (2015).

#### a. Conjunto difuso

Un *Conjunto difuso* puede definirse como una clase en la que hay una progresión gradual desde la pertenencia al conjunto hasta la no pertenencia; o visto de otra forma, en la que un objeto puede tener un grado de pertenencia definido entre la pertenencia total (valor uno) o no pertenencia (valor cero). Desde esta perspectiva, los conjuntos convencionales (o conjuntos *crisp*) pueden verse como un caso particular de conjuntos difusos; un *Conjunto difuso* que solo admite dos grados de pertenencia (uno y cero) (González, 2012).

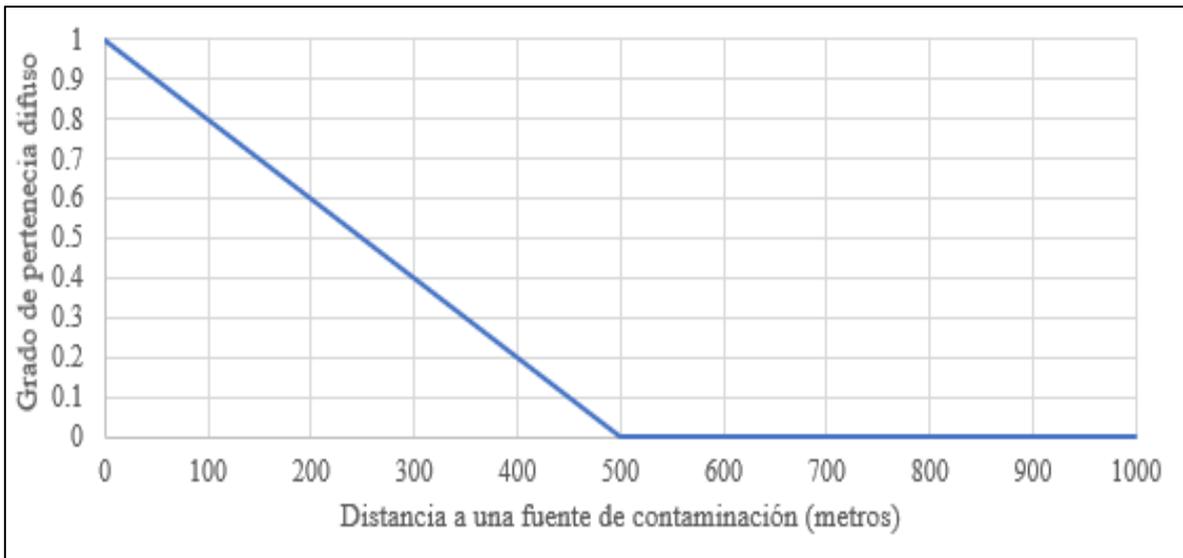
Si se acepta que las variables temáticas son continuas, el establecimiento de clases con límites absolutamente definidos resulta problemático y parece más lógico pensar que la transición entre una clase y la siguiente debería ser gradual. Esta premisa permite denominar a cada una de estas clases, sin límites definidos, como *Conjunto difuso*. Un *Conjunto difuso* está caracterizado por una función de pertenencia a dicho conjunto, cuyo recorrido oscila entre cero y uno (desde la no pertenencia a la clase hasta la pertenencia absoluta), a este proceso también se le denomina fusificación (Carranza, 2008).

## **b. Función de pertenencia difusa (Fusificación)**

El proceso de fusificación establece la definición ideal de pertenencia al conjunto. A cada valor del fenómeno que se encuentre más cerca del concepto de la definición del conjunto se le asignará un valor de uno (1). A aquellos valores, que definitivamente, no forman parte del conjunto se les asigna un valor de cero. Los valores, que se encuentran entre los dos extremos, caen en la zona de transición del conjunto, el límite. A medida que los valores se alejan del valor ideal o del centro del conjunto, se les asigna un valor decreciente en una escala continua de valores reales de uno a cero. A medida que los valores asignados disminuyen, el valor original del fenómeno tiene menos posibilidad de pertenecer a ese conjunto (ESRI, 2014).

Por lo general, el proceso de fusificación se implementa a través de funciones predeterminadas, dependiendo siempre de las características del fenómeno a evaluar. La asignación de una u otra de las funciones de pertenencia difusa para transformar los valores de entrada dependerá del criterio del evaluador (ESRI, 2014).

El grado de pertenencia difuso es útil cuando las propiedades de los fenómenos a analizar no están definidas de forma precisa, como suele ocurrir en la naturaleza. Si, por ejemplo, se decidiera que las casas ubicadas a más de 500 metros no se ven afectadas por la presencia de un cementerio, cabe preguntarse si una casa ubicada a 499 o 501 metros están igual o menos afectadas. La adecuación difusa transforma los valores originales en una escala de 0 a 1 según su grado de pertenencia, cerca o lejos. La Figura 6 muestra un ejemplo de la relación entre el valor original (distancia en metros) y el grado de pertenencia en una función de tipo lineal.



**Figura 6: Ejemplo de la transformación de la variable distancia a una fuente de contaminación hacia el grado de pertenencia difusa de tipo lineal**

En la Figura 6, los puntos ubicados a 0 metros de la fuente de contaminación tendrán un grado de pertenencia difusa igual a 1, mientras que los ubicados por encima de 500 metros tendrán un valor de pertenencia difusa igual a 0. Los valores de pertenencia difusa para los puntos entre 0 y 500 metros se les asignará valores reales entre 1 y 0, en función a su ubicación. Algunos tipos de funciones de pertenencia difusa se presentan en la Tabla 4:

**Tabla 4: Funciones típicas de pertenencia difusa**

Función	Características
Gaussiana	Define una función de membresía difusa a través de una distribución gaussiana o normal basada en un punto medio especificado por el usuario (que tiene una membresía de 1) con un margen definido que disminuye a cero.
Alta	Define una función de pertenencia difusa en la que los valores de entrada más grandes tienen membresía más cercana a 1. La función se define mediante un punto medio especificado por el usuario (al que se le asigna una membresía de 0.5) con un margen definido.
Lineal	Define una función de pertenencia difusa a través de una transformación lineal entre el valor mínimo especificado por el usuario, una membresía de 0, al valor máximo definido por el usuario, al que se le asigna una membresía de 1.
Alta ME	Define una pertenencia difusa a través de una función basada en la media y la desviación estándar, los valores más grandes tienen una membresía más cercana a 1.
Baja ME	Define una pertenencia difusa a través de una función basada en la media y la desviación estándar, y los valores más pequeños tienen una membresía más cercana a 1.
Cercana	Define una función de pertenencia difusa alrededor de un valor específico que se define mediante un punto medio definido por el usuario (al que se le asigna una membresía de 1), con un margen definido que disminuye a cero.
Baja difusa	Define una función de pertenencia difusa con los valores de entrada más pequeños con membresía más cercana a 1. La función se define mediante un punto medio especificado por el usuario (al que se le asigna una membresía de 0.5) con un margen definido.

FUENTE: Adaptado de ESRI (2014)

### 2.2.10. Análisis multicriterio

El concepto genérico de evaluación multicriterio como conjunto de operaciones espaciales para lograr un objetivo, cuando se tiene en consideración simultáneamente todas las variables que intervienen, como factores o restricciones. Este tipo de evaluación sirve de soporte para diversidad de objetivos, frecuentemente relacionados con la toma de decisiones espaciales (De Cos Guerra, 2007).

El análisis multicriterio se encuentra en el ámbito de la teoría de la decisión, la cual puede orientarse en dos direcciones: *la positiva* (descriptiva) y *la normativa* (prescriptiva). La primera se estructura en el campo de la lógica, la psicología y la sociología. Se centra en especificar las razones por las cuales las decisiones son tomadas de un modo determinado. La segunda, enfatiza en el desarrollo, evaluación y aplicación de técnicas para facilitar la toma de decisiones (Barredo, 1996).

El análisis multicriterio o análisis multivariado es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones durante el proceso de planificación territorial, permite integrar diferentes criterios de acuerdo con la opinión de actores en un solo marco de análisis para dar una visión integral sobre un fenómeno en particular (Tobon, 2013).

Entre los principales métodos de análisis multicriterio se consideran: Ponderación Lineal (*Scoring*), Utilidad Multiatributo (MAUT) y Relaciones de Superación, dentro de la cual están los métodos de la Escuela Francesa: ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing Reality*) (Romero, 1996) y PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*); así como también, el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, siglas tomadas de su nombre en inglés: *The Analytic Hierarchy Process*) creado por el matemático Thomas L. Saaty en el año 1980 (Hermenegildo y Rueda, 2013).

En síntesis, el análisis o evaluación multicriterio permite: 1) identificar las partes principales para el sistema o realidad a modelar, 2) reconocer el peso de las partes del sistema, 3) identificar los vínculos entre las partes y 4) proponer una solución racional.

#### **a. Análisis multicriterio, SIG y ordenamiento territorial**

El desarrollo y la aplicación de metodologías de análisis multicriterio han sido muy amplios y su uso cada vez más extensivo debido a las ventajas que ofrece para la generación de información empleada para la toma de decisiones.

Los análisis multicriterio (AMC) admiten diferentes clasificaciones. Estas se basan en el tipo de variables empleadas (cualitativas o cuantitativas, discretas o continuas), en el resultado final de la evaluación (métodos compensatorios, no compensatorios o de resultados difusos) en la disponibilidad de información (con o sin información a priori) y en la posibilidad de integración con otras herramientas de planificación. (Comisión Económica para América Latina [CEAL], 2008; Paruelo, Jobbágy, Laterra, Dieguez, García y Panizza, 2014).

La integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis multicriterio, son unas técnicas que se han empleado en diversas partes del mundo,

para simplificar una realidad particular a través de un modelo integrador. Siendo su principal característica la que permite desarrollar procedimientos de análisis simultáneos en dos componentes del dato geográfico, el espacial y el temático, brindando soluciones a problemas espaciales complejos (Caloni, 2010).

El análisis multicriterio y su integración con los Sistemas de Información Geográfica, ha sido utilizado en diversas aplicaciones, siempre ligado al manejo de datos con un contenido espacial y en algunos casos, también, temporal. Las características del SIG hacen muy eficiente la integración de múltiples variables para modelar un problema o generar propuestas de solución (Rodríguez Luna, 2012).

En contextos donde se deba combinar los juicios de valor y los datos geográficos para la resolución de problemas, la combinación de SIG y AMC es utilizada para generar información, a través de sus diferentes procesos, que soporte la toma de decisiones (Calderon-Urquizo Carbonel, 2017).

Evaluada la literatura sobre las metodologías de análisis multicriterio, se presenta la Tabla 5 donde se comparan diferentes métodos en función al tipo y la cantidad de variables/criterios que puede tomar en cuenta en la evaluación:

**Tabla 5: Comparación de métodos de evaluación multicriterio**

	<b>Simples (una variable)</b>	<b>Complejos (varias variables)</b>
Cuantitativos	Indicadores Económicos	Programación Lineal Dominancia entre proyectos
Cualitativos	Lista de verificación Aportes a metas <i>Q-sorting</i>	Delphi
Mixtos		AHP Modelos de Puntuación

FUENTE: Adaptado de CEAL (2008).

### **2.2.11. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)**

El Proceso de Análisis Jerárquico está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. Este método «trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión» (Saaty, 1980). El proceso requiere que

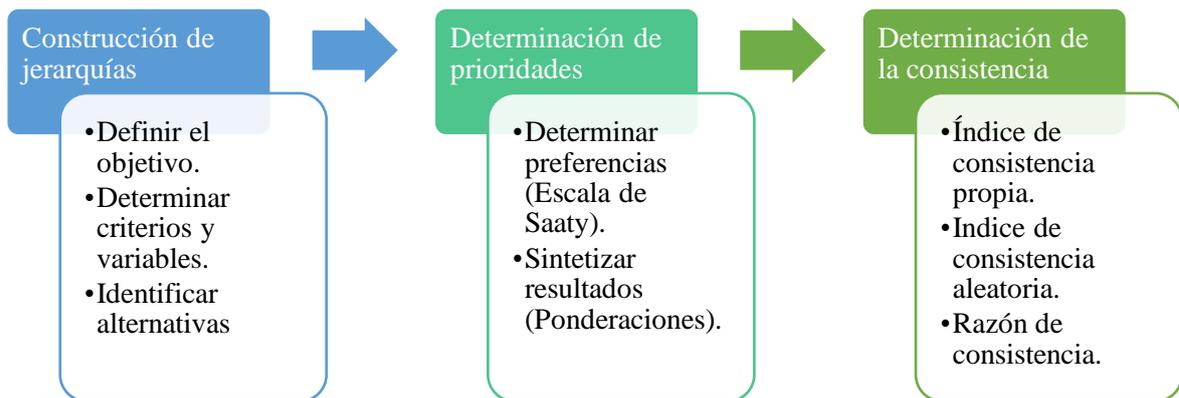
quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Toskano Hurtado, 2012).

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), cuya ventaja sobre otras metodologías de análisis, es la combinación de variables cuantitativas y cualitativas, que suelen quedarse fuera debido a la complejidad de su medición, pero que en ocasiones son relevantes para el análisis; además de la posibilidad de comparación de criterios por su importancia relativa, aun sin disponer de datos numéricos. El AHP, se destaca con relación a otros métodos por la transparencia y visibilidad de los resultados, ya que no se elimina ninguna de las opciones que serán analizadas, ventaja importante en procesos participativos (CEAL, 2008).

En resumen, algunas ventajas del AHP frente a otros métodos de análisis multicriterio son:

- Presentar un sustento matemático
- Permitir desglosar y analizar un problema por partes
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso
- Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es del caso
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad

Para resolver un problema de decisión, en el que se debe elegir una de las alternativas que se plantean, mediante el empleo del Proceso Analítico Jerárquico, las fases a seguir o principios sobre los que se rige son:

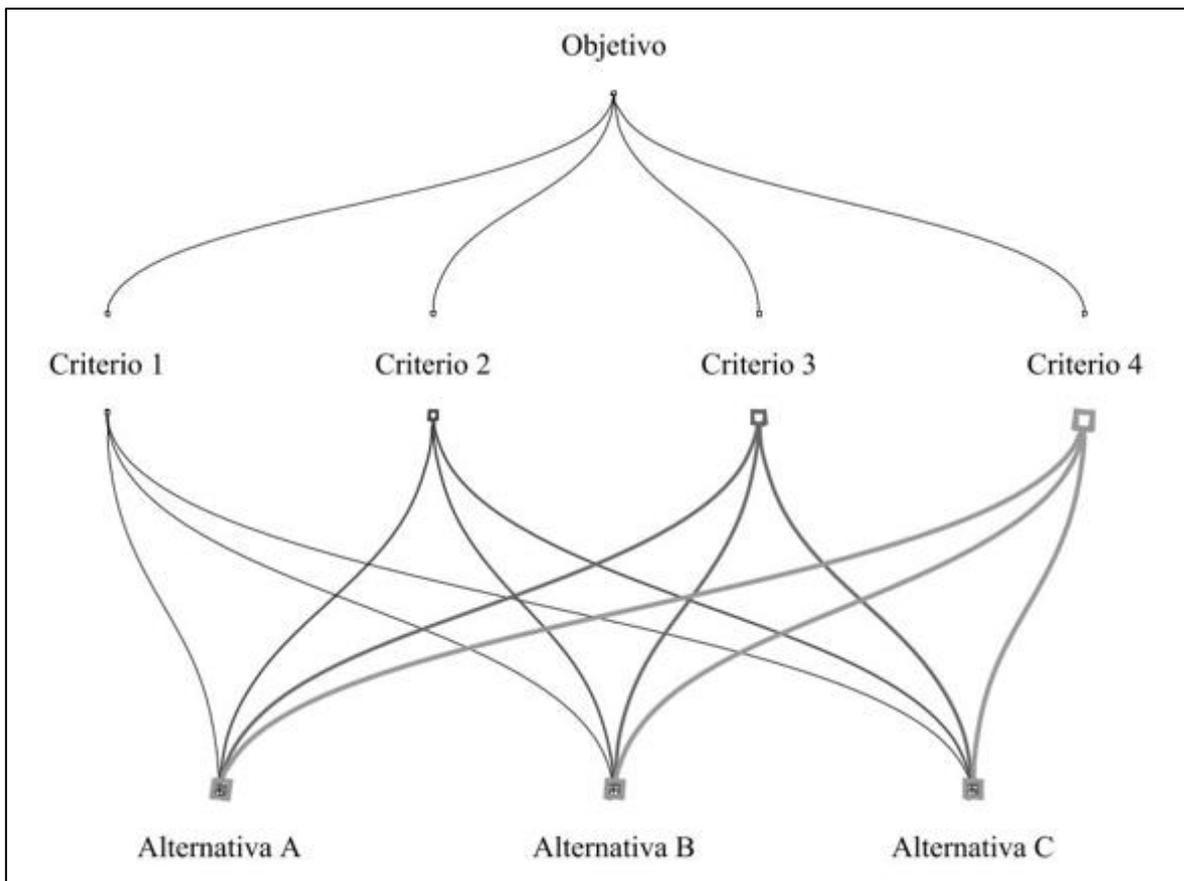


**Figura 7: Esquema del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)**

FUENTE: Adaptado de CEAL (2008)

**a. Estructuración jerárquica del problema en AHP**

El primer paso para la resolución de un problema a través del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), será elaborar su representación jerárquica, ya que este ayuda a ver y entender todos los elementos del problema; agruparlos según su importancia, a distintos niveles; comprender las relaciones que existen entre ellos y cómo cada elemento afecta al problema global. Las jerarquías funcionales lineales son las empleadas en el proceso de análisis jerárquico, en las que se puede descender o ascender de forma lineal de un nivel a otro. Para organizar adecuadamente un problema en una jerarquía, se debe conocer a fondo la cuestión que se está tratando, las posibles opciones que tienen, los elementos que afectan en la decisión y, sobre todo, el fin al que se quiere llegar. Una jerarquía debe presentar al menos tres niveles: el objetivo del problema, los criterios y las alternativas, según se muestra en la Figura 8 (Quisocala, 2016).



**Figura 8: Esquema del modelo jerárquico**

FUENTE: Adaptado de Lopez Lopez (2015).

La estructuración jerárquica del problema presentado en esta investigación se adjunta en el Anexo 4 de la presente investigación.

#### **b. Priorización de criterios en AHP**

Luego de que la jerarquía ha sido trazada, se deben determinar las prioridades de los criterios, subcriterios y alternativas. Para esto, se realizan comparaciones por pares de los criterios, subcriterios y alternativas. Las comparaciones reflejan la preferencia que cada elemento tiene sobre otro en relación con el elemento situado en el nivel inmediatamente superior (Lopez Lopez, 2015).

Cuando se tienen diferentes factores, que contribuyen a una decisión, es necesario determinar una contribución relativa para cada uno; para esto existe una técnica basada en la comparación lógica de dos parámetros (Wallo y Cuesta, 2012).

Como se ha indicado, para comparar la importancia relativa de un elemento sobre otro, se emiten valoraciones que se expresan de forma numérica. Estas se determinan mediante la escala fundamental del AHP, propuesta por Saaty, que se presenta en la Tabla 6.

La escala tiene 5 puntos de comparación en pares: extremadamente importante, «9»; muy importante, «7»; importante, «5»; moderadamente importante, «3»; e igual, «1». De esta manera se construye una matriz de doble entrada con igual número de factores en filas y columnas, una diagonal principal con un valor igual a 1 y, en cada celda, el peso relativo de la comparación.

**Tabla 6: Escala de jerarquización de Saaty**

Importancia relativa	Escala	Descripción
Extremadamente importante	9	La mayor importancia del criterio A sobre B está fuera de toda duda.
Muy importante	7	El criterio A es mucho más importante que el criterio B.
Importante	5	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre B.
Moderadamente importante	3	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre B.
Igual	1	El criterio A es igual de importante que el criterio B.

FUENTE: Adaptado de Saaty (1990), citado por López (2015)

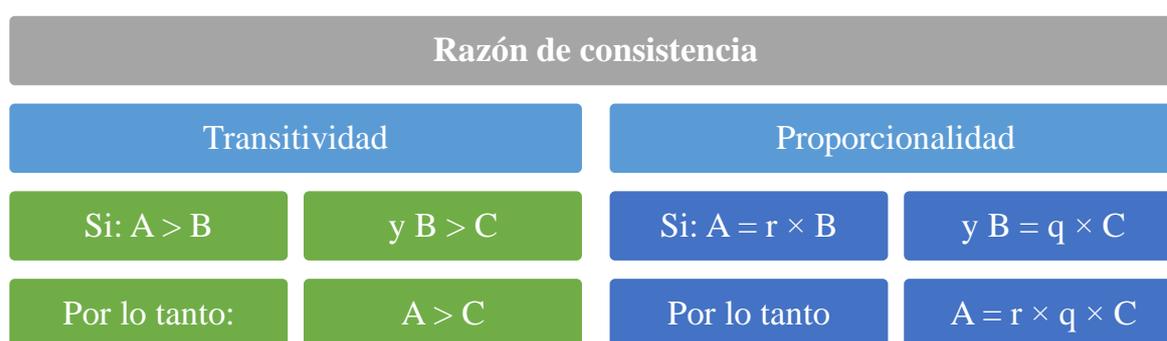
La escala se basa en estudios psicométricos que muestran que las personas establecen con facilidad ponderaciones cualitativas, pero con números enteros, basadas en cinco categorías (igual, débil, fuerte, muy fuerte y absoluto) y que existe un límite psicológico de  $7 \pm 2$  en comparaciones simultáneas (Paruelo *et al.*, 2014).

Después de hallar las preferencias de todos los elementos, se recopilan los resultados y se obtendrá una ponderación que determina las prioridades de cada uno de los elementos (subcriterios, criterios y alternativas). Con estos resultados ya se puede tomar una decisión, y escoger la alternativa que presente la prioridad mayor.

### c. Determinación de la consistencia

Todo proceso de asignación de juicios de valor lleva implícito un elevado porcentaje de subjetividad cuando se asignan valores numéricos a las opiniones. Por ello, el método del proceso jerárquico incluye, una medida cuantitativa denominada razón de consistencia (RC) que informa sobre la arbitrariedad en la asignación de los pesos o ponderación y da como válida la consistencia del análisis.

Las preferencias de criterios y objetivos resultan lógicas si se relacionan bien entre sí. La consistencia implica al menos dos propiedades: transitividad y proporcionalidad (Ver Figura 9).



**Figura 9: Propiedades de transitividad y proporcionalidad**

FUENTE: Adaptado de Paruelo *et al.* (2014)

En una matriz de preferencias perfectamente consistente, se deben cumplir todas las condiciones mencionadas al mismo tiempo. Sin embargo, como los juicios de valor se logran por consenso y las valoraciones subjetivas no siempre se realizan sobre cálculos matemáticos, se admite un margen de error. Si el nivel de inconsistencia es inaceptable se deben revisar los juicios y las preferencias establecidas. El método propone realizar un análisis de la consistencia de las decisiones a través de la Razón de Consistencia (RC), que es el resultado de la relación entre el Índice de Consistencia (CI) de la matriz y un Índice teórico aleatorio (RI), la RC debe adoptar valores inferiores a 0,1 para que la ponderación sea aceptable (Paruelo *et al.*, 2014).

El cálculo de la razón de consistencia (RC) se realiza mediante la aplicación de los siguientes parámetros:

$$RC = \frac{CI}{IA}, \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad IA = \frac{1.98 \times (n - 2)}{n}$$

donde:

- RC = razón de consistencia
- n = número de elementos que se comparan
- $\lambda_{max}$  = vector de normalización
- CI = índice de consistencia o valor propio
- IA = índice aleatorio de consistencia

### III. METODOLOGÍA

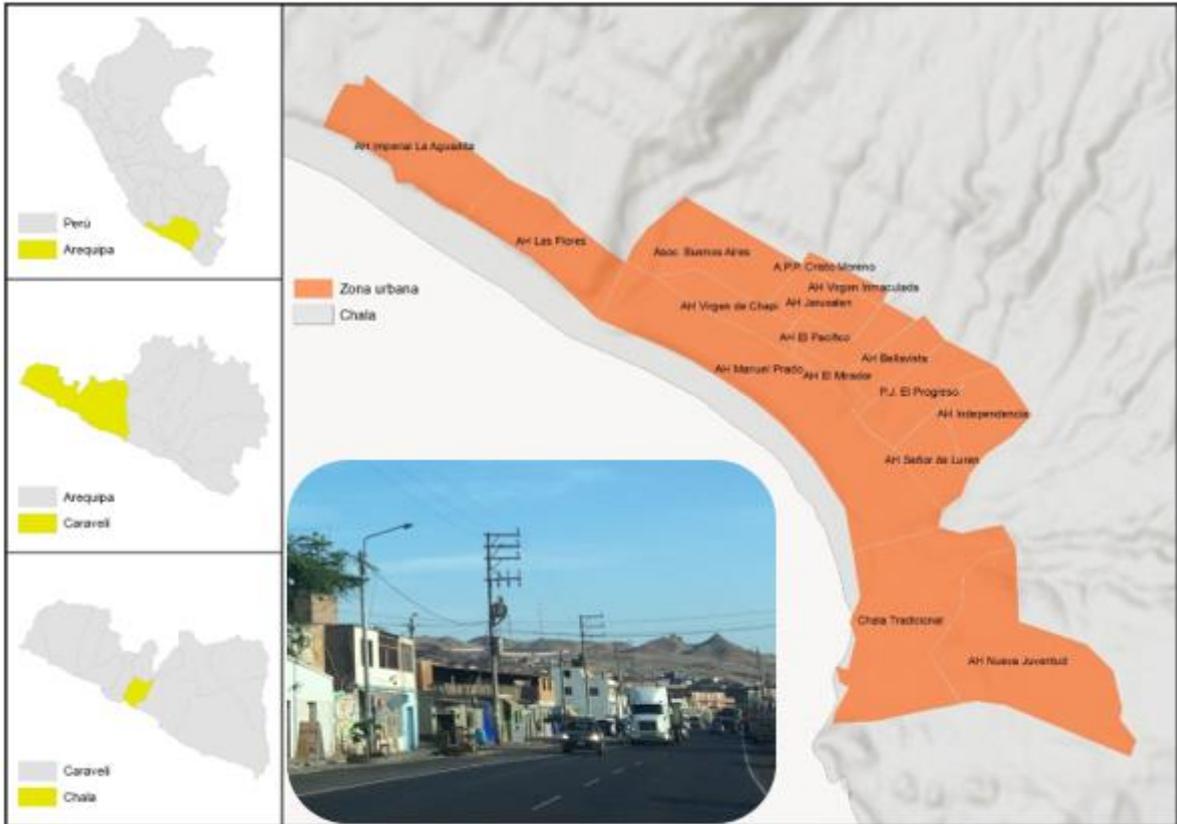
#### 3.1. Lugar y duración del estudio

El distrito de Chala se ubica en el kilómetro 650 de la carretera Panamericana Sur, limita por el norte con el distrito de Atiquipa, por el este con el distrito de Huanu-Huanu, por el sur con el distrito de Chaparra y por el oeste con el océano Pacífico; es uno de los 13 distritos de la provincia de Caravelí, dentro de la región de Arequipa. Tiene una extensión de 37 900 hectáreas y la población aproximada es de 15 000 habitantes. Dado que el objetivo principal de la investigación fue evaluar el riesgo ambiental para la salud en la zona urbana del distrito de Chala, y cuya extensión es 403.62 hectáreas. La población se organizó en 16 urbanizaciones (Asentamiento Humano – AA. H.H., Pueblo joven – PJ y Asociación de vivienda), como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7: Asentamientos del área urbana del distrito de Chala – Arequipa**

Zona	Nombre de urbanización	Área (ha)
La Aguadita	Asentamiento Humano «Imperial La Aguadita»	33.89
	Asentamiento Humano «Las Flores»	28.99
Chala Sur	Asentamiento Humano «Nueva Juventud	61.06
	Chala Tradicional»	62.82
Chala Norte	Asociación de Pequeños Productores «Cristo Moreno»	2.10
	Asentamiento Humano «Bellavista»	10.95
	Asentamiento Humano «El Mirador»	4.78
	Asentamiento Humano «El Pacífico»	12.14
	Asentamiento Humano «Independencia»	17.28
	Asentamiento Humano «Jerusalén»	14.03
	Asentamiento Humano «Manuel Prado»	79.74
	Asentamiento Humano «Señor de Luren»	12.67
	Asentamiento Humano «Virgen de Chapi»	12.64
	Asentamiento Humano «Virgen Inmaculada»	2.32
Asociación de Vivienda «Buenos Aires»	29.49	
Pueblo Joven «El Progreso»	18.72	

*Nota.* El área total es 403.62 Hectáreas. El área urbana del distrito ha sido dividida en 16 zonas.



**Figura 10: Ubicación de la zona urbana del distrito de Chala (Chala Norte) – Arequipa**

### 3.2. Materiales y equipos

Esta investigación se dividió en 2 partes: en primer lugar, se procedió con una etapa de campo, en la cual se recopiló información *in situ* para su posterior procesamiento y análisis en la etapa de gabinete. Se requirieron los siguientes materiales y equipos:

#### Fase de campo

- Cámara fotográfica (Sony Cybershot DSC-W220 12.1MP, Japón, 2007)
- Un equipo de GPS portátil
- Una libreta de apuntes
- Memoria USB (Kingston 16GB DataTraveler SE9 2.0, USA, 2016)

#### Fase de gabinete

- Material de apunte
- Útiles de escritorio
- Laptop

- Impresora
- Bases de datos espaciales (INGEMMET - MINEM - MINAM)
- Cartas Nacionales – IGN
- Imágenes satelitales
- Licencia de uso de los siguientes *softwares* informáticos: QGIS, paquete MS Office 2016

### 3.3. Variables analizadas

A partir del análisis de los objetivos de la investigación se plantean las siguientes variables:

- **Y:** Aptitud para residir en el distrito de Chala (Variable dependiente).
- **X:** Factores de riesgo ambiental para la salud del distrito de Chala (Variable independiente).

#### 3.3.1. Variable independiente: Factores de riesgo ambiental para la salud del distrito de Chala

Actualmente no existe una lista de criterios para determinar los factores que influyen en el riesgo ambiental para la salud (*Variable X*), por lo que se optó por incorporar y adaptar aquellos criterios y factores que se consideran más relevantes en el análisis del riesgo ambiental para la salud, basado en los trabajos realizados por Aragon-Piña, Campos-Ramos, Leyva, Hernandez-Orta, Miranda-Ortiz y Luszczewski-Kudra (2006); De Pietri *et al.* (2011); Navoni, De Pietri, García, y Villaamil (2012); Zamarreño *et al.* (2013) y ARMA (2014) sobre sitios con actividades mineras e industriales y su relación ambiente – salud.

De Pietri *et al.* (2011), en su modelo de análisis propone una serie de indicadores, relacionados como factores de riesgo ambiental y habitabilidad, aquellos relacionados al acceso a servicios públicos, indispensables para el desarrollo urbano, han sido catalogados como factores de habitabilidad. Se consideró para la medida de estos indicadores un índice que valora el acceso de la población a un servicio público dentro de la zona, en una escala del 1 al 10, donde 1 implica nulo acceso al servicio analizado, mientras 10 implica un óptimo acceso al mismo.

Estos indicadores agrupados en la categoría factores de habitabilidad de la variable de investigación «X» son los siguientes:

## a. Factores de habitabilidad

### • Disponibilidad de agua potable

El agua potable es un recurso esencial para el desarrollo de la vida humana y su disponibilidad es clave para el establecimiento de centros poblados. Para la medición de este indicador se considera una tendencia lineal mediante la cual tenemos que los centros poblados con mayor cantidad de hogares sin acceso a agua por red tendrán mayor riesgo ambiental para salud. Para cada punto se estableció una escala del 1 al 10 donde 1 es un acceso nulo al recurso, mientras que 10 constituye un valor óptimo de disponibilidad de agua. De esta manera, se asignó 6 a las zonas donde reciben agua por lo menos una vez al día; 4 donde existe red, pero no recibe agua diariamente, 2 donde reciben agua por cisterna y no existe red; por último, 1 donde no se recibe el servicio. El riesgo asociado a la disponibilidad del agua disminuye proporcionalmente con la provisión del servicio de agua potable, y se encuentra determinado por la siguiente fórmula:

$$Riesgo\ ambiental_{Disponibilidad\ de\ agua\ potable} = \mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si\ x \leq 1 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si\ x \in (1,10) \\ 0, & Si\ x \geq 10 \end{cases}$$

Donde «X» es igual a los valores (1 - 10) asignados a la disponibilidad de agua potable.

### • Disponibilidad de alcantarillado

La recolección, conducción y tratamiento de aguas negras domiciliarias constituyen un factor importante para evitar daños en la salud y el ambiente, y es esencial para la planificación adecuada del establecimiento de centros poblados en una determinada área (Ruiz, 2018). Para la medición de este indicador se considera una tendencia lineal mediante la cual tenemos que los centros poblados con mayor cantidad de hogares sin acceso a la red de alcantarillado tendrán mayor riesgo ambiental para salud. Se asignó un valor numérico de 8 a las zonas que cuentan con red de alcantarillado completa, un valor de 6 donde existe red de alcantarillado incompleta, 4 donde no existe red de alcantarillado y se usan silos, y, por último, se asignó 1 donde no existe red de alcantarillado.

El riesgo asociado al acceso a la red de alcantarillado disminuye proporcionalmente con la provisión del servicio a los hogares, y se encuentra determinado por la siguiente formula:

$$Riesgo\ ambiental_{Acceso\ a\ alcantarillado} = \mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si\ x \leq 1 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si\ x \in (0,10) \\ 0, & Si\ x \geq 10 \end{cases}$$

Donde «X» es igual a los valores (1 - 10) asignados a la calidad de acceso a la red de alcantarillado o silos.

- **Disponibilidad de red eléctrica**

A igual que el agua y las redes de desagüe, la disponibilidad de energía eléctrica se ha vuelto esencial en la vida diaria del ser humano en casi todos los aspectos de su existencia y debe ser tomada en cuenta para poder realizar la planificación de centros poblados (Ruiz, 2018). Para la medición de este indicador se considera una tendencia lineal mediante la cual tenemos que los centros poblados con mayor cantidad de hogares sin acceso a la red de electricidad tendrán mayor riesgo ambiental para salud. Se asignó un valor numérico de 8 a las zonas donde la mayor parte de los habitantes cuentan con acceso a la red eléctrica, 4 donde solo una parte de los habitantes cuentan con acceso a la red eléctrica y se utilizan otras fuentes, y 1 donde no existe red eléctrica.

El riesgo asociado al acceso a la red eléctrica disminuye proporcionalmente con la provisión del servicio a los hogares, y se encuentra determinado por la siguiente formula:

$$Riesgo\ ambiental_{Acceso\ a\ electricidad} = \mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si\ x \leq 1 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si\ x \in (0,10) \\ 0, & Si\ x \geq 10 \end{cases}$$

Donde «X» es igual a los valores (1 - 10) asignados a la calidad de acceso a la electricidad.

- **Disponibilidad de calles asfaltadas**

La presencia de calles asfaltadas es fundamental en el diseño de centros urbanos ya que permite el tránsito de vehículos y evita la suspensión de partículas dañinas para el ser humano en el aire. En el caso de zonas con presencia de minería, se observa con importancia dado que el polvo puede contener residuos perjudiciales de la minería y debe evitarse volatilización de estos (ARMA, 2014). Para la medición de este indicador se considera una tendencia lineal mediante la cual tenemos que los centros poblados con mayor cantidad de hogares sin acceso directo a calles asfaltadas tendrán mayor riesgo ambiental para salud. Se asignó un valor numérico de 8 donde todas las calles están asfaltadas, 4 donde parte de la urbanización tiene las calles asfaltadas, y 1 donde no hay calles asfaltadas.

El riesgo asociado al acceso a calles asfaltadas disminuye proporcionalmente con la presencia de estas, y se encuentra determinado por la siguiente fórmula:

$$Riesgo\ ambiental_{Acceso\ a\ calles\ asfaltadas} = \mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si\ x \leq 1 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si\ x \in (0,10) \\ 0, & Si\ x \geq 10 \end{cases}$$

Donde «X» es igual a los valores (1 - 10) asignados a la calidad de acceso a calles asfaltadas.

- b. **Factores de contaminación ambiental**

Por otra parte, el presente estudio incluye además indicadores asociados a la actividad minera agrupados en la categoría de «Factores de contaminación ambiental», y según autores como ARMA (2014), cuentan de gran relevancia en la clasificación territorial según las aptitudes requeridas para la habitabilidad humana.

Para los indicadores categorizados de contaminación ambiental, la unidad de medida seleccionada fue la distancia en metros a la fuente de contaminación; es decir, si la distancia hacia la fuente de contaminación es más corta, mayor será el riesgo ambiental para la población. Estos factores son:

- Distancia a quimbaletes
- Distancia a plantas informales
- Distancia a plantas formales
- Distancia a botaderos de residuos solidos
- Distancia a cementerios
- Distancia a grifos

El riesgo asociado a cada factor ambiental se encuentra determinado por la siguiente formula:

$$Riesgo\ ambiental_{Factor} = \mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si\ x \leq 0 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si\ x \in (a,b) \\ 0, & Si\ x \geq b \end{cases}$$

Donde «X» es igual a la distancia a cada factor de contaminación, «a» el valor máximo de seguridad y «b» el valor máximo permitido de distancia a los factores dados. Los valores críticos «a» y «b» se encuentran detallados en el Anexo 3.

### 3.3.2. Variable dependiente: Aptitud para residir en el distrito de Chala

En base al riesgo ambiental para la salud, se plantea la variable dependiente Aptitud para residir, la cual se relaciona de manera inversa al riesgo para la salud, siendo este un aporte claro para la toma de decisiones en el ordenamiento territorial del distrito de Chala, con respecto a los factores que componen el riesgo evaluado.

Para esta investigación, la condición de «baja aptitud para residir» se relaciona con la exposición de la población a contaminación ambiental provocada por actividades mineras y además tiene limitado acceso a la infraestructura de servicios básicos. La Tabla 8 muestra la correspondencia entre las variables dependiente e independiente.

**Tabla 8: Operacionalización de las variables empleadas en el modelo**

Definición	Categorías	Indicadores	Medida
<b>Variable dependiente</b>			
Y: Aptitud para residir en el distrito de Chala		Valor de la Aptitud para residir en el distrito de Chala	Escala numérica
<b>Variable independiente</b>			
X: Factores de riesgo ambiental para la salud del distrito de Chala	Factores de contaminación ambiental	Distancia a quimbaletes	Metros (escala)
		Distancia a plantas informales	
		Distancia a plantas formales	
		Distancia a botaderos de residuos solidos	
		Distancia a cementerios	
		Distancia a grifos	
	Factores de habitabilidad	Disponibilidad de agua potable	Escala numérica (ordinal)
		Disponibilidad de alcantarillado	
		Disponibilidad de red eléctrica	
		Disponibilidad de calles asfaltadas	

### 3.3.3. Riesgo ambiental para la salud

Los factores ambientales que pueden afectar a la población no se reducen a las sustancias químicas, físicas o biológicas que directamente pueden afectar a la salud, sino también, a aquellos factores que, al afectar a todo el ecosistema, afectan la calidad de vida. Los estudios han determinado que en todo el mundo un 24 % de pérdida de la cantidad de años de vida saludable y el 23 % de los fallecimientos prematuros son a causa de factores ambientales, agravándose estos números en el caso de los niños, dado que el 36 % de las muertes infantiles en el mundo se pueden atribuir a causas medioambientales como la minería (Torres-Nerio, Domínguez-Cortinas, Van't Hooft, Díaz-Barriga y Cubillas-Tejeda, 2010; Di Pietri, 2011) plantean un modelo cuantitativo para estimar el riesgo para la salud en un determinado punto geográfico, en base a factores de riesgo ambiental definidos y transformados mediante una función lineal de lógica difusa. El modelo integra estos factores mediante la siguiente formula:

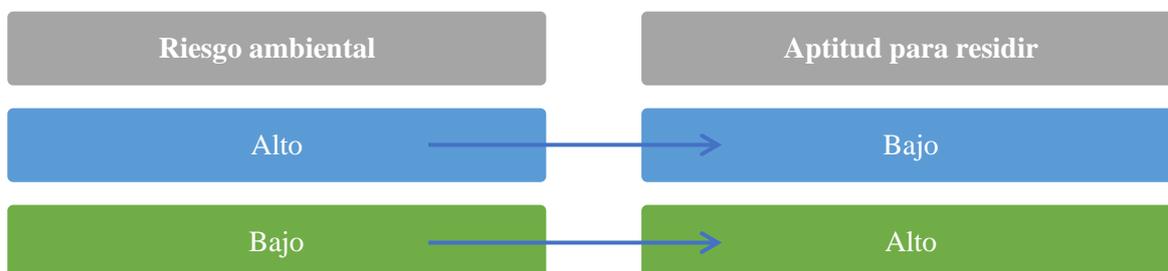
$$R = \sum_{i=1}^n (W_i \times E_i)$$

donde:

- R = riesgo ambiental para la salud
- $W_i$  = importancia asignada (ponderación) al factor i

- $E_i$  = valor transformado y estandarizado de factor  $i$
- $n$  = número de factores involucradas en el modelo

Para el modelo, los valores «R» más altos representan los sitios de mayor riesgo ambiental para la salud, en contraposición de los valores más bajos, que indican poco o nulo riesgo.



**Figura 11: Correspondencia entre la aptitud para residir en el territorio y el riesgo para la salud que conlleva**

### 3.4. Procedimiento y análisis de la investigación

#### 3.4.1. Fuentes de información

Se analizó la información de los instrumentos de gestión ambiental de las actividades mineras en la zona, información disponible del gobierno local y de servicios básicos. Además, información de investigaciones cuya área de desarrollo fue el distrito de Chala.

#### 3.4.2. Análisis de los datos a través de la lógica difusa

Mediante las funciones de pertenencia difusa en el entorno SIG, la variable seleccionada en cada criterio es transformada y estandarizada en un valor de pertenencia que fluctúa entre 0 y 1, a este proceso se le denomina adecuación difusa. De esta manera, los valores en los mapas temáticos cambian gradualmente representando distintos niveles de riesgo ambiental en el territorio (De Pietri *et al.*, 2011).

La función de pertenencia difusa adoptada fue la de transformación lineal. Los límites o puntos de inflexión en esta investigación tienen como referencia los estudios realizados por Aragon-Piña *et al.* (2006); Corral, De La Mora, Cota, Corral, Carrasco y Santana (2009);

(De Pietri *et al.*, 2011); Rodríguez Luna (2012); ARMA (2014); MINAM & ARMA (2016), las recomendaciones de las Guías del MINAM (2010), MINAM (2015) y la opinión de expertos en minería artesanal. En todos los casos, se adoptó la posición más conservadora.

### **3.4.3. Jerarquización de las variables**

Tras la preparación de las variables a través de la lógica difusa, se empleó el proceso de análisis jerárquico (AHP) para determinar la importancia de cada criterio seleccionado dentro del modelo asignándole una ponderación diferente en función a su relevancia para el fenómeno estudiado. El AHP considera que los criterios no tienen la misma importancia cuando se define un fenómeno o se toma una decisión considerando una cantidad determinada de factores. En esta investigación se consideran más importantes los criterios de riesgo ambiental, que los criterios de habitabilidad del territorio para definir el riesgo ambiental para la salud.

### **3.4.4. Evaluación del riesgo ambiental para la salud**

La operación de relacionamiento de las variables del modelo propuesto se realiza en un entorno SIG. Se utilizó la herramienta de superposición del QGIS®; estas herramientas son versátiles para modelar diferentes fenómenos. Los significados de las cantidades y las técnicas de análisis, que ofrece el programa, son específicos para cada enfoque, y este dependerá del problema a abordar (ESRI, 2016). Las variables georreferenciadas, transformadas, estandarizadas y ponderadas se unirán mediante la superposición ponderada (*weighted overlay*), tal como se vio anteriormente.

### **3.4.5. Zonificación del territorio en función a la aptitud para residir**

Habiéndose calculado el riesgo para la salud de los puntos geográficos que conforman las distintas zonas del distrito de Chala, se procedió con determinación de la aptitud para residir mediante la transformación inversa del riesgo para la salud. Mediante el *software QGIS®* se pudo generar los mapas con las regiones según su alta o baja aptitud para residir acorde al riesgo que presentan para la salud según los factores evaluados de la contaminación ambiental asociada a la actividad minera y las condiciones de desarrollo urbanístico actuales.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Determinación de los factores de riesgo ambiental para la salud**

#### **4.1.1. Criterios de habitabilidad**

##### **a. Agua potable**

En la región analizada, la disponibilidad de este recurso es escasa. La empresa Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa S.A. (SEDAPAR) es la encargada de la dotación de agua potable y alcantarillado en la zona. La captación se realiza a través de dos galerías filtrantes (pozos subterráneos), denominadas «Joruro» (1,2 l/s) y «La Josefita» (0,2 l/s). Que en conjunto producen un caudal aproximado de 1,4 l/s, el mismo que es conducido por gravedad hacia el reservorio apoyado R-2 de 380 m<sup>3</sup> de capacidad, el reservorio R-1 de 120 m<sup>3</sup> se encuentra inoperativo (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2014).

El reservorio R-2 tiene un horario de servicio desde 5:30 a. m. hasta 6:00 a. m. (1/2 hora); y abastece a la zona Chala Norte, así como al reservorio R-3 (200 m<sup>3</sup>) que, en el mismo horario, atiende a la zona Chala Sur. Además, se utilizan camiones cisterna para abastecer a las zonas donde no existe red de agua (SUNASS, 2011; MINAM & ARMA, 2016). Según se muestra en la Tabla 9, la red de agua potable cuenta con 1066 conexiones totales de agua potable de las que 85 % se encuentra en situación activa. En 2018, los habitantes de Chala han recibido menos de 0.045 m<sup>3</sup> de agua al día. Sin embargo, la continuidad del servicio se estimó en 47 minutos de agua al día, y un punto crítico en 2016 cuando fue de 22 minutos al día. Esta situación pone en riesgo la salud de la población (Diario Perú 21, 2017; SEDAPAR, 2019).

La mejora del acceso al agua potable proporciona beneficios tangibles a la salud y mejora la calidad de vida de la población, lamentablemente, según informe de SEDAPAR el aumento de la dotación de agua es poco viable ya que el acuífero viene siendo sobre explotado debido a la proliferación de pozos clandestinos construidos por personas individuales y plantas de procesamiento de mineral (SUNASS, 2014; SUNASS, 2015).

**Tabla 9: Indicadores de gestión del agua potable de la EPS SEDAPAR hasta 2018**

<b>Titular</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Población según municipalidad de Chala	7329	7699	8089	8498
Conexiones totales de agua potable	1176	1188	1078	1066
Conexiones activas de agua potable	878	842	912	910
Volumen anual producido (miles m <sup>3</sup> )	61	81	98	117
Continuidad del servicio (horas/día)	1.54	0.39	0.61	0.79

FUENTE: Municipalidad de Chala (2014), SUNASS (2018) e INEI (2018).

Ante la falta de información respecto a la infraestructura del servicio de agua potable y las cifras poco claras respecto a la generación y cobertura. Se confeccionó la Tabla 10, donde se estima un índice para la dotación de agua potable (por red y cisterna) de cada una de las urbanizaciones.

**Tabla 10: Índice de acceso al servicio de agua potable por cada urbanización en Chala**

Zona	Nombre de urbanización	Índice
La Aguadita	Asentamiento Humano «Imperial La Aguadita»	4
	Asentamiento Humano «Las Flores»	4
Chala Sur	Asentamiento Humano «Nueva Juventud Chala Tradicional»	2
		6
Chala Norte	Asociación de Pequeños Productores «Cristo Moreno»	1
	Asentamiento Humano «Bellavista»	2
	Asentamiento Humano «El Mirador»	2
	Asentamiento Humano «El Pacífico»	2
	Asentamiento Humano «Independencia»	2
	Asentamiento Humano «Jerusalén»	2
	Asentamiento Humano «Manuel Prado»	6
	Asentamiento Humano «Señor de Luren»	2
	Asentamiento Humano «Virgen de Chapi»	2
<b>«Continuación»</b>		
	Asentamiento Humano «Virgen Inmaculada»	1
	Asociación de Vivienda «Buenos Aires»	2
	Pueblo Joven «El Progreso»	2

*Nota.* Se asignó «6» a las zonas donde reciben agua por lo menos una vez al día | «4» donde existe red, pero no recibe agua diariamente | «2» donde reciben agua por cisterna y no existe red | «1» donde no se recibe el servicio.

En la Figura 12, se proyectan los índices donde los tonos más oscuros representan una situación de mayor riesgo para la salud, debido a la falta de agua potable.

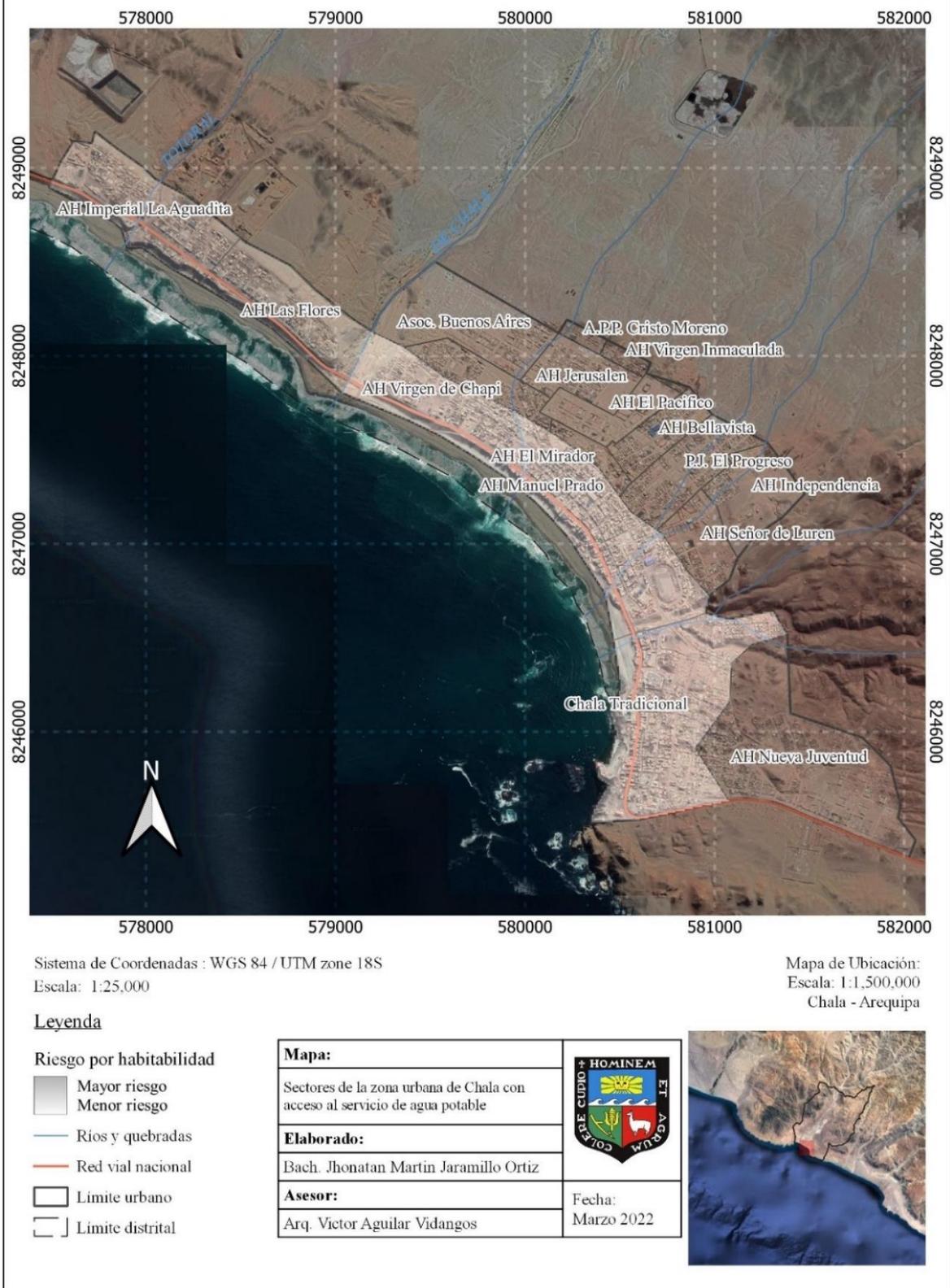


Figura 12: Zonas con acceso a agua potable

## b. Alcantarillado

En la zona de estudio, la EPS SEDAPAR es la encargada de la gestión de las aguas servidas. Como se indica en la Tabla 11, gran parte de la población no cuenta con servicio de alcantarillado, según la misma empresa, para el 2018 solo el 38 % de la población cuenta con una conexión a la red de alcantarillado. Como resultado de esto, aún una parte de los habitantes utilizan pozos negros o silos con las consecuencias que su inadecuado funcionamiento puede traer (SEDAPAR, 2019).

**Tabla 11: Indicadores de gestión del alcantarillado de la EPS SEDAPAR hasta 2018**

Titular	2015	2016	2017	2018
Población según municipalidad de Chala	7329	7699	8089	8498
Conexiones totales de alcantarillado	756	793	763	776
Porcentaje de aguas residuales tratadas	0 %	0 %	0 %	0 %

FUENTE: Adaptado de SEDAPAR (2018)

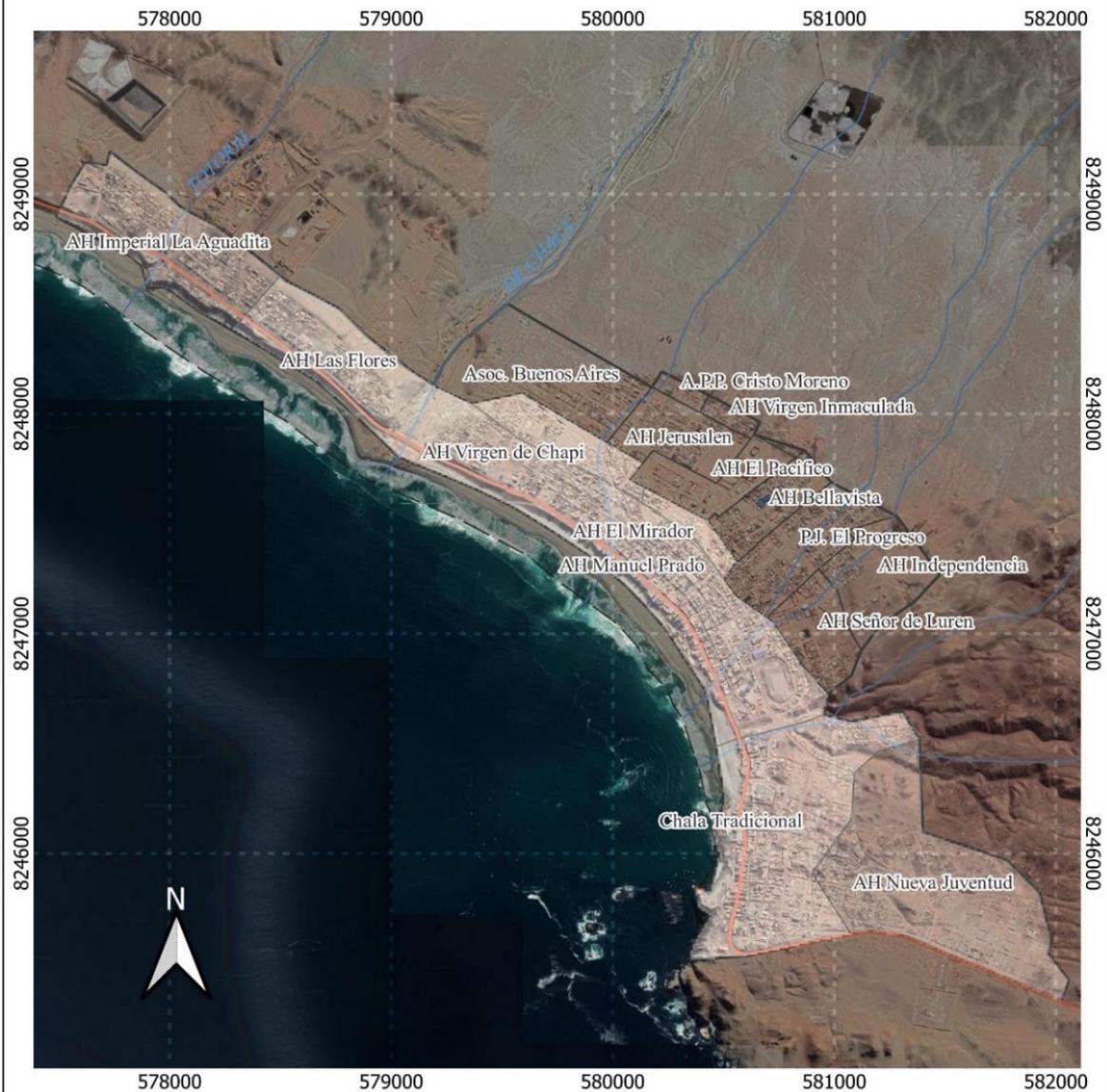
El agua residual captada por la red de alcantarillado en zonas de Chala Sur y Chala Norte no recibe ningún tratamiento y es vertida directamente en el mar, esto representa un potencial riesgo de enfermedades; ya que la pesca es otra de las actividades principales en la zona (SUNASS, 2014; SEDAPAR, 2018).

Se confeccionó la Tabla 12, donde se estima un índice de cobertura del servicio para cada una de las urbanizaciones, los números más bajos designan a situaciones de mayor riesgo.

**Tabla 12: Índice de acceso al servicio de alcantarillado por cada urbanización**

<b>Zona</b>	<b>Nombre de urbanización</b>	<b>Índice</b>
La Aguadita	Asentamiento Humano «Imperial La Aguadita»	4
	Asentamiento Humano «Las Flores»	6
Chala Sur	Asentamiento Humano «Nueva Juventud Chala Tradicional»	4
		8
Chala Norte	Asociación de Pequeños Productores «Cristo Moreno»	1
	Asentamiento Humano «Bellavista»	1
	Asentamiento Humano «El Mirador»	6
	Asentamiento Humano «El Pacífico»	1
	Asentamiento Humano «Independencia»	1
	Asentamiento Humano «Jerusalén»	1
	Asentamiento Humano «Manuel Prado»	8
	Asentamiento Humano «Señor de Luren»	1
	Asentamiento Humano «Virgen de Chapi»	6
	Asentamiento Humano «Virgen Inmaculada»	1
	Asociación de Vivienda «Buenos Aires»	1
	Pueblo Joven «El Progreso»	1

En la Figura 13, se proyectan los índices de la Tabla 12, donde los tonos más oscuros representan una situación de mayor riesgo para la salud, debido a la falta del servicio de alcantarillado.



Sistema de Coordenadas : WGS 84 / UTM zone 18S  
 Escala: 1:25,000

Mapa de Ubicación:  
 Escala: 1:1,500,000  
 Chala - Arequipa

**Leyenda**

- Riesgo por habitabilidad**
- Mayor riesgo
  - Menor riesgo
  - Ríos y quebradas
  - Red vial nacional
  - Límite urbano
  - Límite distrital

<b>Mapa:</b>	
Sectores de la zona urbana de Chala con acceso al servicio de alcantarillado	
<b>Elaborado:</b>	
Bach. Jhonatan Martin Jaramillo Ortiz	
<b>Asesor:</b>	
Arq. Victor Aguilar Vidangos	
Fecha:	
Marzo 2022	



**Figura 13: Zonas con acceso a alcantarillado subterráneo**

### **c. Red eléctrica**

El suministro eléctrico a través de la red está parcialmente implementado en la zona urbana de Chala. Los constantes cortes del servicio eléctrico, el deterioro prematuro de los equipos electrónicos, el alto costo de la energía (considerada de tipo rural), el incremento de la población y la demanda de las plantas procesadoras, son los principales problemas de la población de Chala (Diario RPP, 2014).

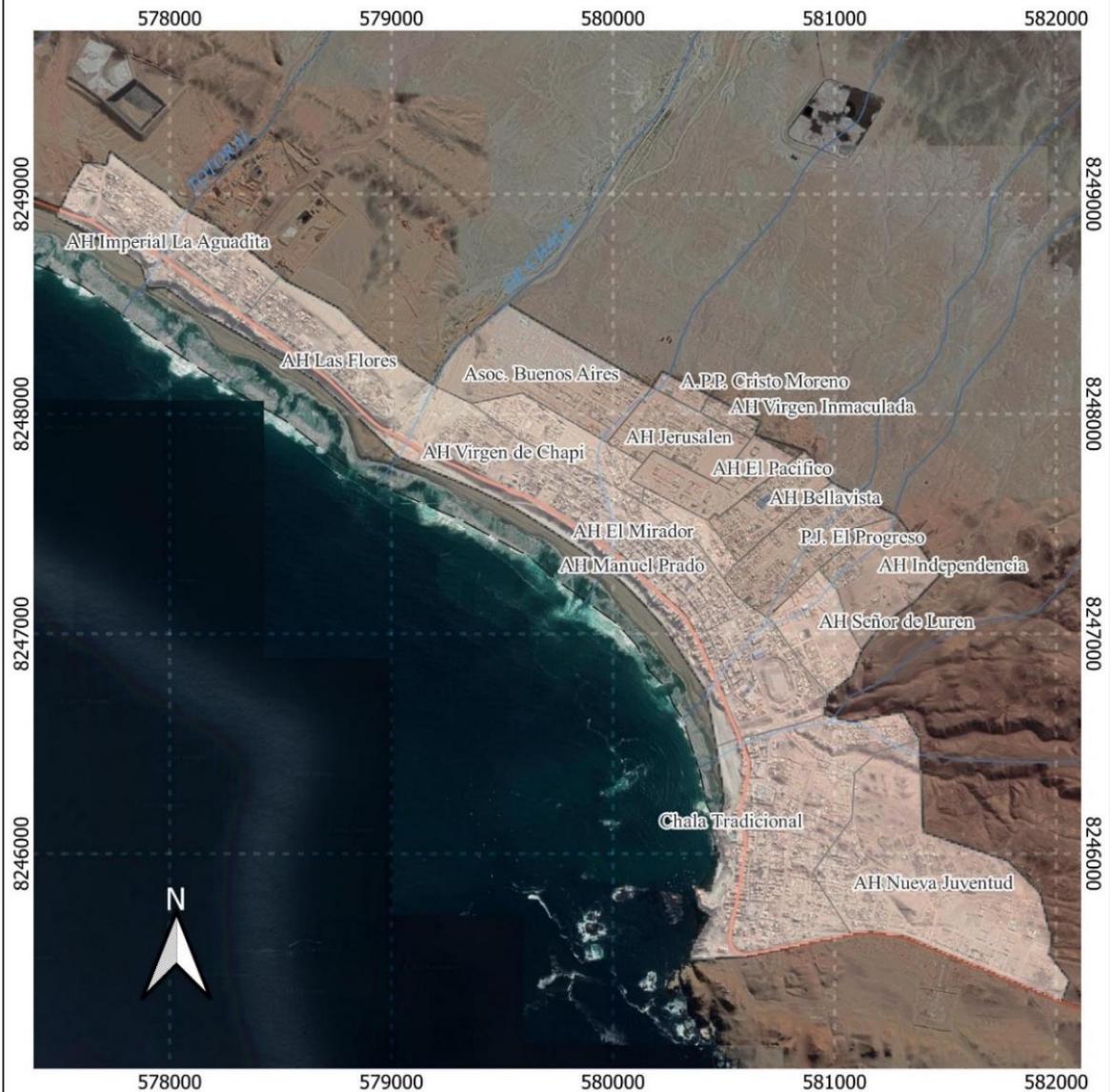
La empresa Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. (SEAL), ha reportado que entre 2012 y 2018, la ciudad de Chala registró 940 interrupciones del servicio eléctrico debido a fallas de los sistemas de alimentación, esto la sitúa como la ciudad con más cortes dentro del área concesionada por SEAL. El principal tipo de falla fue «Corte por Operación» y el segundo «Pérdida de aislamiento transitoria». En conjunto, estos cortes significaron que, en el periodo señalado, la ciudad se quedó sin electricidad por 1785 horas, 12 minutos y 35 segundos (Espinoza, 2019).

De acuerdo con el plan operativo de la empresa SEAL, se inició el proyecto de construcción de una Sub-Estación en Chala de 60-22.9 KV, que atenderá la demanda en aumento de la población y de las plantas de beneficio de la zona y de esta forma evitar los cortes de energía (Diario La República, 2019; SEAL, 2019). Ante la falta de información respecto a la infraestructura del servicio eléctrico, se confeccionó la Tabla 13, donde se estima un índice de cobertura del servicio para cada una de las urbanizaciones, los números más bajos designan situaciones de mayor riesgo. Las urbanizaciones más nuevas son las menos favorecidas con el suministro eléctrico.

**Tabla 13: Índice de acceso al servicio eléctrico en red cada urbanización en Chala**

<b>Zona</b>	<b>Nombre de urbanización</b>	<b>Índice</b>
La Aguadita	Asentamiento Humano «Imperial La Aguadita»	8
	Asentamiento Humano «Las Flores»	8
Chala Sur	Asentamiento Humano «Nueva Juventud Chala Tradicional»	8
		8
Chala Norte	Asociación de Pequeños Productores «Cristo Moreno»	4
	Asentamiento Humano «Bellavista»	4
	Asentamiento Humano «El Mirador»	8
	Asentamiento Humano «El Pacífico»	4
<b>«Continuación»</b>		
	Asentamiento Humano «Independencia»	4
	Asentamiento Humano «Jerusalén»	4
	Asentamiento Humano «Manuel Prado»	8
	Asentamiento Humano «Señor de Luren»	8
	Asentamiento Humano «Virgen de Chapi»	8
	Asentamiento Humano «Virgen Inmaculada»	4
	Asociación de Vivienda «Buenos Aires»	4
	Pueblo Joven «El Progreso»	4

La inclusión en el análisis del riesgo ambiental responde a que la red eléctrica mejora la calidad de vida de la población y con esto, las condiciones de habitabilidad del territorio; pues disminuye los riesgos a la salud de la población, supliendo la precariedad de las condiciones sanitarias e higiénicas de los hogares en los procesos de producción y mantenimiento de los alimentos.



Sistema de Coordenadas : WGS 84 / UTM zone 18S  
Escala: 1:25,000

Mapa de Ubicación:  
Escala: 1:1,500,000  
Chala - Arequipa

**Leyenda**

**Riesgo por habitabilidad**

- Mayor riesgo
- Menor riesgo
- Ríos y quebradas
- Red vial nacional
- Límite urbano
- Límite distrital

<b>Mapa:</b>	
Sectores de la zona urbana de Chala con acceso al servicio de electrificación	
<b>Elaborado:</b>	
Bach. Jhonatan Martin Jaramillo Ortiz	
<b>Asesor:</b>	
Arq. Victor Aguilar Vidangos	
Fecha:	
Marzo 2022	



**Figura 14: Zonas con acceso a servicio de red eléctrica**

#### d. Calles

Gran parte del área urbana de Chala no cuenta con calles asfaltadas; lo que facilita la suspensión de polvo sedimentable, potencialmente, contaminado con elementos químicos nocivos como arsénico, mercurio y plomo; tal como se evidencia en el estudio realizado por el Ministerio del Ambiente y la Autoridad Regional Medioambiental de Arequipa, el 62 % de las muestras contenían niveles de arsénico por encima del ECA para suelo ( $0.006 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Martin, 2005; MINAM & ARMA, 2016).

El análisis de la muestra de fondo de MINAM & ARMA (2016), indicó que la contaminación se trasladaba a zonas donde no se realizan actividades mineras (Chala Viejo y la Zona Urbana de Chala). Según el modelo conceptual de esa investigación, el transporte de contaminantes se da por la resuspensión de material particulado proveniente de las actividades mineras, que se acumula en las calles por donde a diario circulan transporte pesado, hacia plantas de procesamiento o zonas de minería artesanal.

**Tabla 14: Resultados de monitoreos ambientales de plantas de procesamiento ubicadas en Chala**

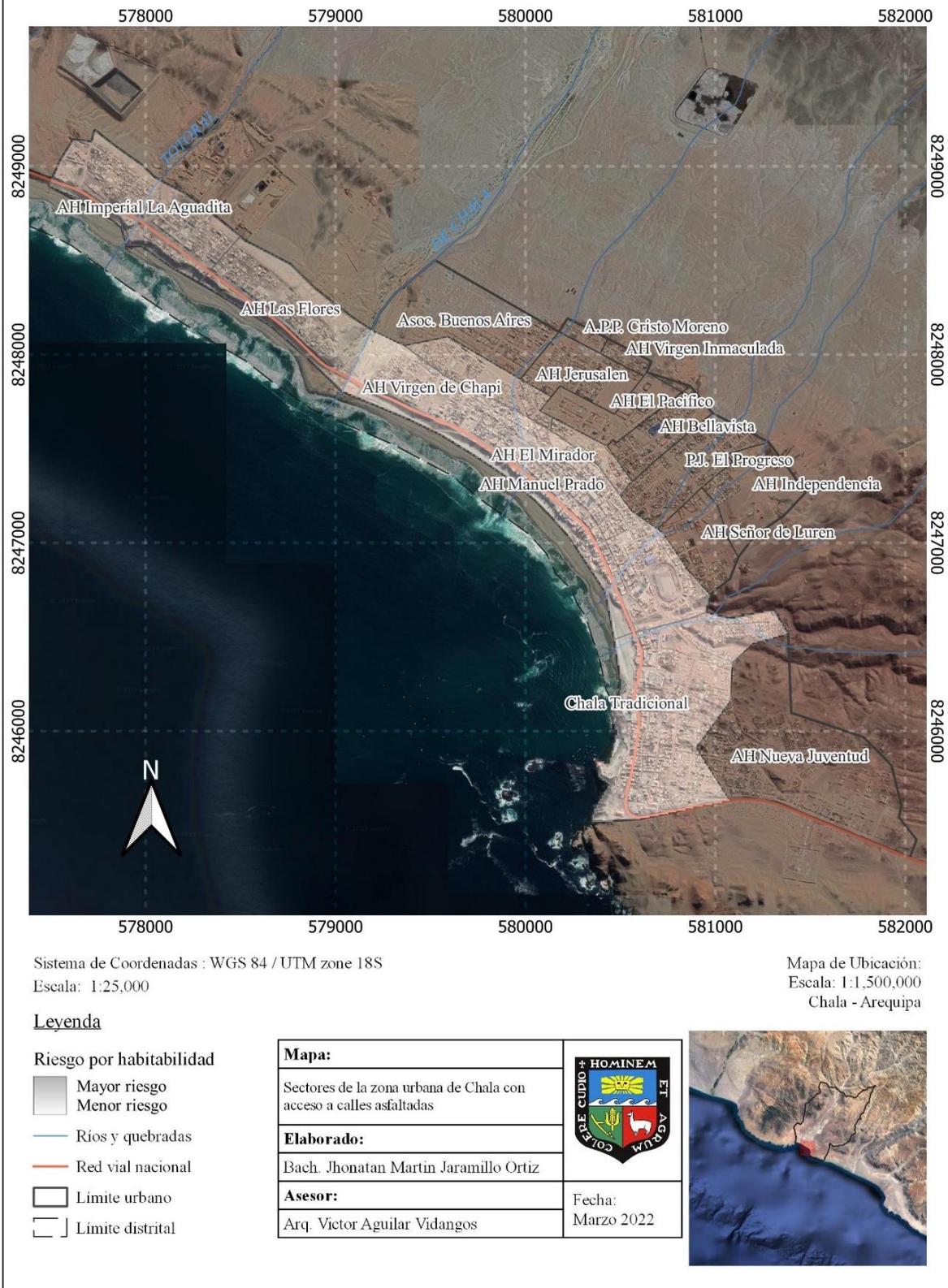
Planta	Año	PM10 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
Planta de beneficio Bendición de Dios – Minera Titán	2013-1	92.77
	2013-2	69.73
Minera La Españolita del Sur	2011-1	10.9
	2011-2	16.2
Minera Chala One	2013-1	24.54
	2013-2	54.93
Minera Orión Analytica	2014-1	26.62
	2014-2	18.25
	2014-3	74.68
Minera Paraíso	2011-1	79.8
	2011-2	73.8
Minera LAB SAC	2013-1	80
	2013-2	80
Minera Confianza	2014-1	44.6
	2014-2	63.02
	2014-3	71.9
	2014-4	52.19

Asimismo, el material particulado (PM10) afecta negativamente la salud de la población; ya que se acumulan en los pulmones, generando enfermedades respiratorias y cutáneas (Aragon-Piña *et al.*, 2006). La Tabla 14 muestra que, el valor promedio de los monitoreos de PM10 en Chala superó el ECA de 50 mg/m<sup>3</sup>. Los valores de PM10 más altos fueron obtenidos en los puntos de monitoreo cercanos a las relaveras y plantas de procesamiento.

Se ha realizado una estimación de la relación entre las calles asfaltadas y calles sin asfaltar. Esta se presenta en la Tabla 15, como un indicador de cumplimiento. Se entiende que, las zonas con menos calles asfaltadas son las que tendrán mayor riesgo para la salud. Los índices menores indican mayor riesgo.

**Tabla 15: Índice de calles asfaltadas en cada urbanización en Chala**

Zona	Nombre de urbanización	Índice
La Aguadita	Asentamiento Humano «Imperial La Aguadita»	4
	Asentamiento Humano «Las Flores»	4
Chala Sur	Asentamiento Humano «Nueva Juventud	1
	Chala Tradicional»	8
Chala Norte	Asociación de Pequeños Productores «Cristo Moreno»	1
	Asentamiento Humano «Bellavista»	1
	Asentamiento Humano «El Mirador»	4
	Asentamiento Humano «El Pacífico»	1
	Asentamiento Humano «Independencia»	1
	Asentamiento Humano «Jerusalén»	1
	Asentamiento Humano «Manuel Prado»	8
	Asentamiento Humano «Señor de Luren»	1
	Asentamiento Humano «Virgen de Chapi»	4
	Asentamiento Humano «Virgen Inmaculada»	1
	Asociación de Vivienda «Buenos Aires»	1
Pueblo Joven «El Progreso»	1	



**Figura 15: Zonas con calles asfaltadas**

#### 4.1.2. Criterios de riesgo ambiental

##### a. Quimbaletes

Se identificaron 64 plantas de procesamiento por amalgamación con mercurio (Quimbaletes). La Figura 16 muestra la ubicación espacial de los quimbaletes en el área urbana de Chala, todos se encuentran en la zona denominada «Chala Norte».

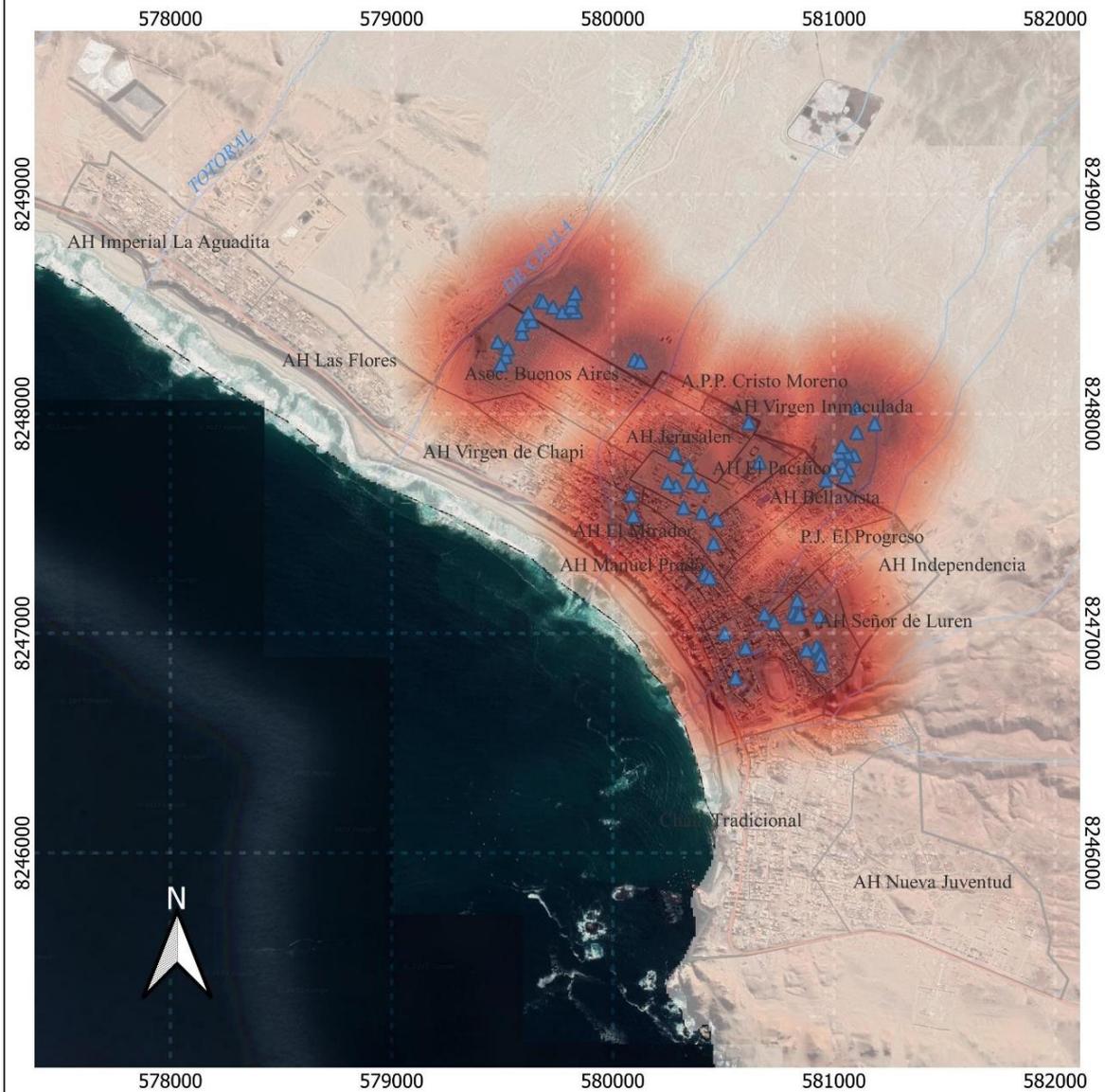
Estas plantas de procesamiento artesanal configuran el delito de minería ilegal, pues realizan procesamiento metalúrgico en una zona urbana, actividad prohibida en los Decretos Legislativos 1105 y 1336. Esta actividad, es penada hasta con 8 años de cárcel.

La investigación tuvo en consideración las conclusiones de los trabajos realizados en centros mineros como Santa Filomena – Ayacucho (Monteagudo, 2001), Huanca – Arequipa (Wotruba y Vasters, 2002) y Mollehuaca – Arequipa (ARMA, 2014) y La Rinconada (Cuentas y Velarde, 2019), donde se evidencia que la calidad ambiental en los centros poblados se ha visto afectada por las actividades procesamiento con quimbaletes.

El procesamiento del mineral de oro en circuitos abiertos, como con el quimbaleta, es considerado como una de las formas más contaminantes de empleo de mercurio ya que solo un 10 % se utilizará efectivamente y el 90 % restante se perderá en el ambiente o se traslada al relave, por ello, se generan impactos en el ambiente local y problemas de salud para la población (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2008).

También a nivel local sucede que no solo el procesamiento, sino también la molienda en sistemas abiertos traslada elementos contaminantes como el arsénico, plomo y cobre a zonas donde no se realiza actividad minera como se evidencia en los trabajos de (Kuramoto, 2001; Zamarreño *et al.*, 2013; Diaz, 2014; Pérez-Martínez y Martín, 2015; López *et al.*, 2016).

Para determinar el área de influencia de los quimbaletes en la Figura 16, se utilizó la referencia de MINAM (2012), que indicó que la presencia de población en un radio menor a 500 metros de un Pasivo Ambiental se considera de riesgo. Mientras que, ARMA (2014) indicó que los quimbaletes generan contaminación de manera local, alrededor de 100 metros. Las zonas más oscuras, más cercanas a los quimbaletes, representan zonas con un grado de pertenencia mayor que las zonas más claras, alejadas de los quimbaletes.



Sistema de Coordenadas : WGS 84 / UTM zone 18S  
Escala: 1:25,000

Mapa de Ubicación:  
Escala: 1:1,500,000  
Chala - Arequipa

**Leyenda**

- ▲ Quimbaletes (Chala, 2014)
- Área de riesgo ambiental
  - Mayor riesgo
  - Menor riesgo
- Ríos y quebradas
- Red vial nacional
- Limite urbano
- Limite distrital

<b>Mapa:</b>	Zona de riesgo ambiental debido a la presencia de quimbaletes
<b>Elaborado:</b>	Bach. Jhonatan Martin Jaramillo Ortiz
<b>Asesor:</b>	Arq. Victor Aguilar Vidangos
	Fecha: Marzo 2022



**Figura 16: Ubicación de quimbaletes en la zona urbana de Chala**

## b. Plantas procesadoras formales

Las plantas procesadoras, según los registros revisados, cumplen con lo exigido por la ley nacional y son fiscalizados por las autoridades competentes y presentan sus monitoreos ambientales periódicamente. La Tabla 16 muestra las plantas de procesamiento formales en Chala.

**Tabla 16: Plantas formales de procesamiento de oro ubicadas en Chala**

<b>Titular de Concesión</b>	<b>Capacidad Máxima (TM/día)</b>	<b>Extensión (Hectáreas)</b>	<b>Régimen Minero</b>
Analytica Mineral Services S.A.C.	100	44	Pequeña minería
Minera Confianza S.A.C.	300	22	Pequeña minería
Minera Españolita del Sur S.A.	25	6	Minería artesanal
Minera Paraíso S.A.C.	350	27	Pequeña minería
Minera Titán del Perú S.R.L.	350	95	Gran minería
Ingeniería, Construcción e Inversiones Generales Campos E.I.R.L.	25	5	Pequeña minería
Minera Veta Dorada S.A.C.	300	94	Gran minería
Procesadora Neal S.A.C.	25	6	Pequeña minería
Planta Minera La Valerosa S.A.C.	25	7	Pequeña minería
Minera Paraíso II S.A.C.	350	20	Pequeña minería

FUENTE: Adaptado de INGEMET (2018) y MINEM (2018)

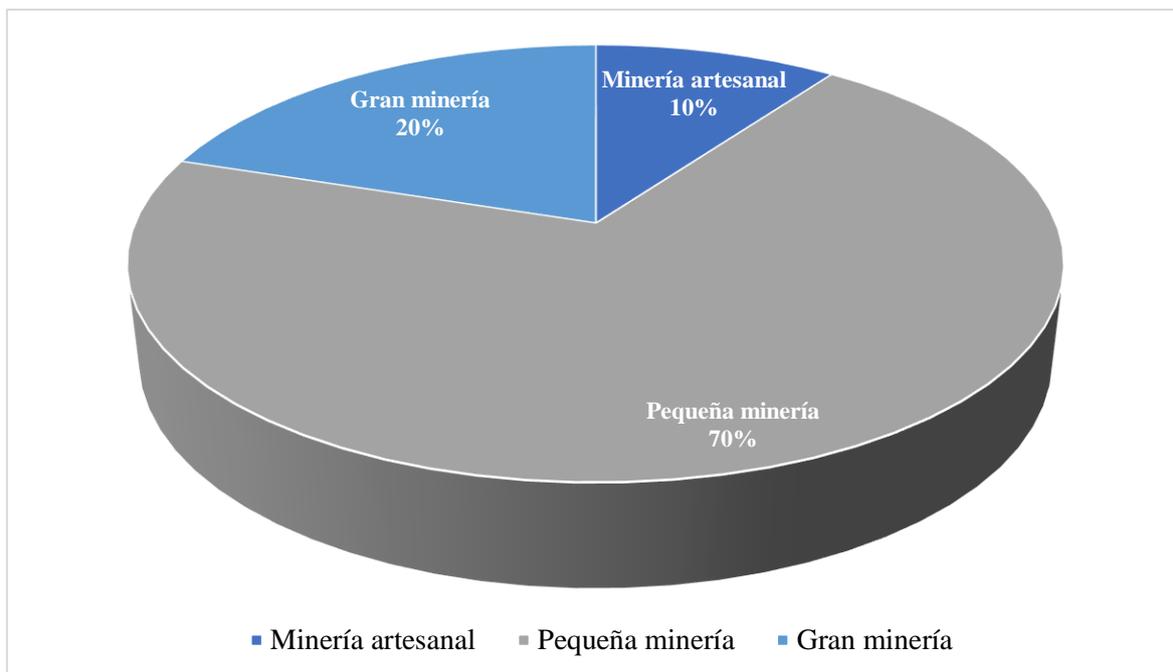
No obstante, los documentos recopilados en MINAM & ARMA (2016), evidencian que estas plantas tienen relaveras sin recubrimiento y con espejos de agua que incrementan el riesgo de emitir al ambiente elementos tóxicos para la salud humana. De las 10 plantas de procesamiento funcionando en el distrito, 7 tienen calificación de Pequeña Productor Minero (Pequeña minería) lo cual les limita a mantener una capacidad instalada no mayor a 350 toneladas por día. Esta información se muestra de manera resumida en la Figura 17.

Según la revisión documentaria, en conjunto estas plantas estarían procesando diariamente más de 1500 toneladas de mineral aurífero. Por otra parte, la fiscalización ambiental de las plantas con calificación de pequeña minería es realizada por la Gerencia Regional de Energía y Minas de Arequipa, a través de las Entidades de Fiscalización Ambiental (EFA), y no por la OEFA (Organismo de

Evaluación y Fiscalización Ambiental), quienes solo tienen competencia sobre la Gran Minería.

Las plantas de procesamiento formales, se considera como potencial fuente de contaminación debido al poco control sobre los componentes del proyecto como: las canchas de acopio de mineral donde se dejan al aire libre, muchas veces en contacto directo con el suelo, y las zonas de chancado y molienda, donde se pulverizan materiales que contienen naturalmente elementos contaminantes (metales pesados) facilitan su liberación y transporte a través del viento hacia las zonas urbanas o el mar. Situación similar se encontró en Cuba donde se identificó que los procesos de trituración y transporte de materiales realizados en el Centro de Investigaciones Siderúrgicas (CIS) son las fuentes de contaminación del ambiente que afecta la salud de la población que habita cerca al CIS (Rodríguez *et al.*, 2002; OEFA, 2013).

El MINAN & ARMA (2016) plantea en su modelo conceptual que, las actividades mineras representan un riesgo potencial por la liberación al ambiente de metales pesados peligrosos para la salud humana como son el arsénico, plomo, cobre, cadmio y la propagación de partículas cianuradas provenientes de las relaveras, facilitado por los factores climatológicos de la zona.



**Figura 17: Estrato minero de las plantas de procesamiento en Chala**

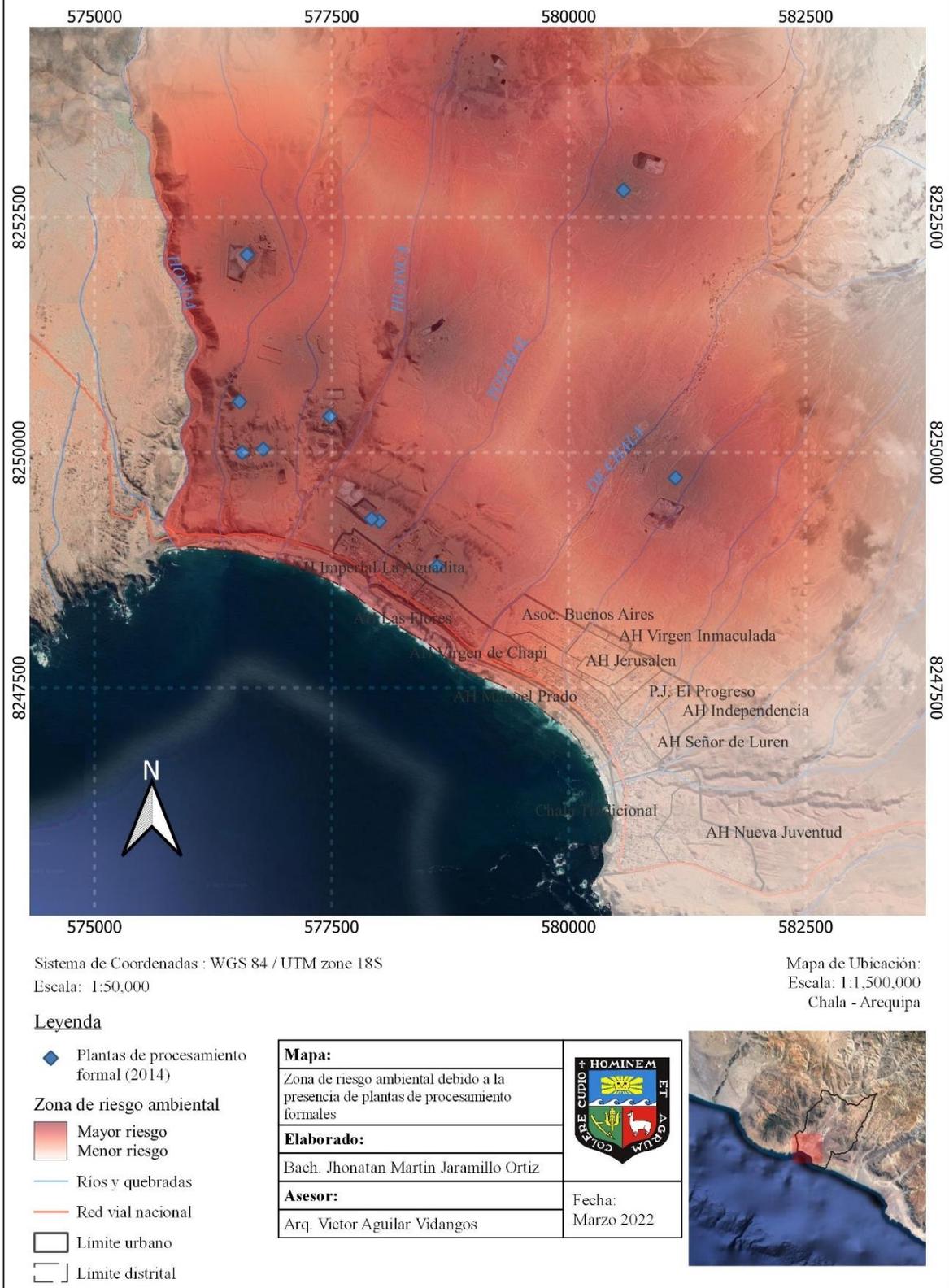
FUENTE: Adaptado de MINEM (2018)

Se ha demostrado una relación entre la distancia a relaveras y la propagación de contaminantes en las capas superficiales del suelo. En México se encontró presencia de arsénico, plomo, cadmio y zinc en el suelo en puntos alejados 3 kilómetros de las relaveras, entonces existe una relación inversamente entre la concentración del contaminante en el suelo y la distancia a la relavera. Similar situación se vive en Chala, pues se encontró presencia de metales pesados en ubicaciones a más de 3 kilómetros de una planta de procesamiento o relavera (Puga *et al.*, 2006; MINAM & ARMA, 2016).

La normativa actual no establece distancias mínimas entre un proyecto de planta de procesamiento (plantas de beneficio de minerales) y la población. El Título 14 – Bienestar y Seguridad de la Ley General de Minería, señala que una zona (población) se considera alejada si se encuentra a una distancia mayor a 30 kilómetros o toma más de 1 hora de camino. Esta referencia no resulta útil para la escala considerada en esta investigación (MINEM, 2018).

Por otra parte, el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) y el MINEM, mediante el Decreto Supremo 040-2014-EM establecen que todo proyecto minero debe definir el área de influencia ambiental directa e indirecta en sus instrumentos de gestión ambiental. Para los instrumentos de gestión ambiental consultados el área de influencia directa de los proyectos es la zona urbana de Chala y la ubican entre 4 y 11.5 kilómetros de distancia (Minera Jerusalén, 2012; Minera Confianza, 2013; Minera Titán del Perú, 2014).

La Figura 18 muestra la distribución espacial de las plantas de procesamiento formales en el distrito, sobre «Imperial La Aguadita» y «Chala Norte». La expansión urbana de Chala se ha dado sin planificación y de manera espontánea por lo que en algunos casos los predios de las plantas de procesamiento colindan con las viviendas.



**Figura 18: Ubicación de plantas de procesamiento formales**

Emblemáticos son los casos de Minera Titán del Perú y Procesadora Neal (Solandra), los cuales tienen sus operaciones a menos de 200 metros de viviendas en la zona de «Imperial La Aguadita», esta situación no es aconsejable desde ningún punto de vista. Debido a la proximidad de Chala a centros mineros artesanales como Relave, Mollehuaca, Chaparra y otros. Se instalaron las plantas buscando atraer el mineral producido por los mineros. Esta situación ha causado la aglomeración de estas como se observa en la Figura 18.

Al no encontrarse una referencia precisa y considerando la información presentada, se establece un radio de 3 kilómetros para determinar el área de influencia para este criterio.

### c. Plantas informales procesadoras de oro

Se muestra en la Tabla 17, las plantas de procesamiento que aún no se han formalizado y algunas de sus características.

**Tabla 17: Plantas informales de procesamiento de oro ubicadas en Chala**

Titular	Ubicación	Formalización
Minera MH SAC	La caleta, quebrada seca chala	Ordinario
Félix Alvarado	La caleta, quebrada seca chala	Extraordinario
Mauro García	La caleta, quebrada seca chala	Extraordinario
Minera Jerusalén SAC	Quebrada Huanca, paraje «La Aguadita»	Ordinario
Chala One SAC	Quebrada Huanca, paraje «La Aguadita»	Ordinario
Minera Buena Vista II SAC	A 10 km salida de Chala a Huanu-Huanu	Ordinario
Minerales del Sur SAC	A 12 km salida de Chala a Huanu-Huanu	Ordinario
Samuel De La Cruz	A 12 km salida de Chala a Huanu-Huanu	Extraordinario
Minera Haljon SRL	A 12 km salida de Chala a Huanu-Huanu	Ordinario

FUENTE: Adaptado de MINAM & ARMA (2016)

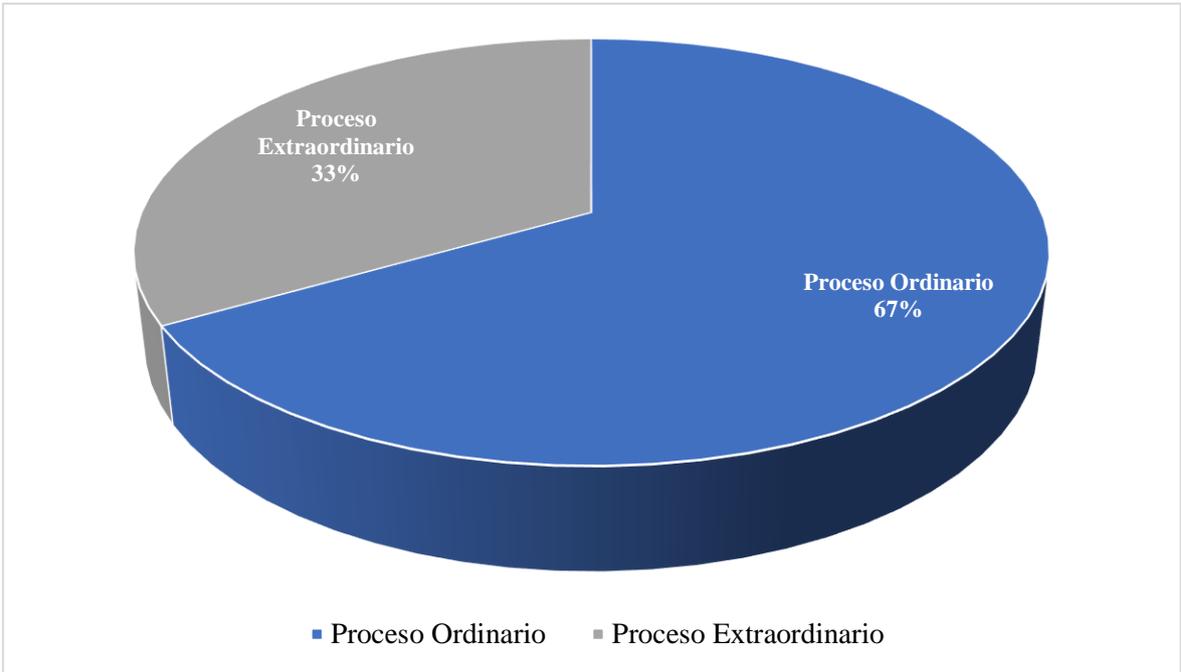
Estas son plantas de cianuración rudimentarias, también se les denomina plantas de manto o pozas de cianuración. Este tipo de plantas nacieron como una alternativa de mejora tecnológica a la amalgama con mercurio. Consisten en pozas de tierra cubiertas por plásticos o geomembranas donde se depositan entre 30 y 50 toneladas de mineral, previamente chancado o zarandeado que luego es regado con solución

cianurada por 20 días con frecuencia de 4 veces diaria. Esto representa un grave peligro para la vida de los operadores y el medio ambiente de la zona (IIED, 2010; Pachas, 2011).

Evidentemente, la precariedad de sus operaciones es una de sus principales características. No cuentan con sistemas de reducción de polvo en el proceso de chancado y molienda, normalmente trabajan con cianuro ilegalmente obtenido y personal poco capacitado, procesan relaves de amalgamación con mercurio que facilita la formación de metilmercurio, las relaveras no han sido técnicamente construidas o en el peor de los casos no cuenta con una y disponen del relave cianurado directamente en el suelo (Corral et al., 2009; Orihuela, Hinojosa, Huaroto, y Pérez, 2019).

Las plantas que se encuentran en el proceso extraordinario están permitidas de realizar actividades en simultaneo a lograr sus permisos y autorizaciones, mientras que los 6 restantes no deben realizar actividades hasta culminar su formalización. Sin embargo, informes expuestos en MINAM & ARMA (2016), muestran que las plantas mapeadas están realizando actividad, lo que agrava el potencial del riesgo ambiental de sus actividades.

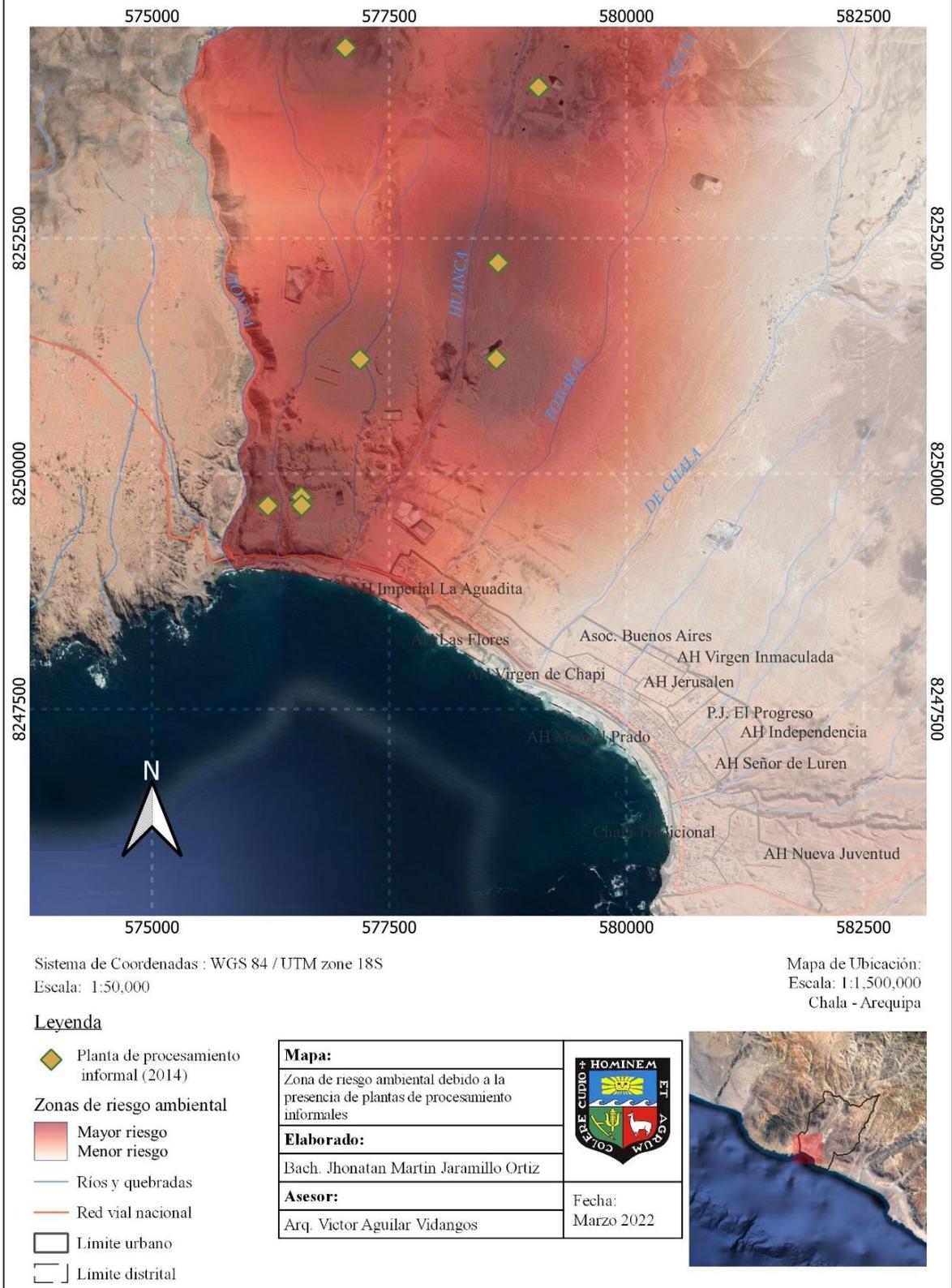
Para determinar el radio de influencia de este criterio, se utilizó como referencia los estudios, informes e instrumentos de gestión ambiental y se ha establecido en 3 kilómetros el radio para el área de influencia de este criterio.



**Figura 19: Plantas de procesamiento informales en Chala, de acuerdo con proceso de formalización que siguen**

FUENTE: Adaptado de MINEM (2018)

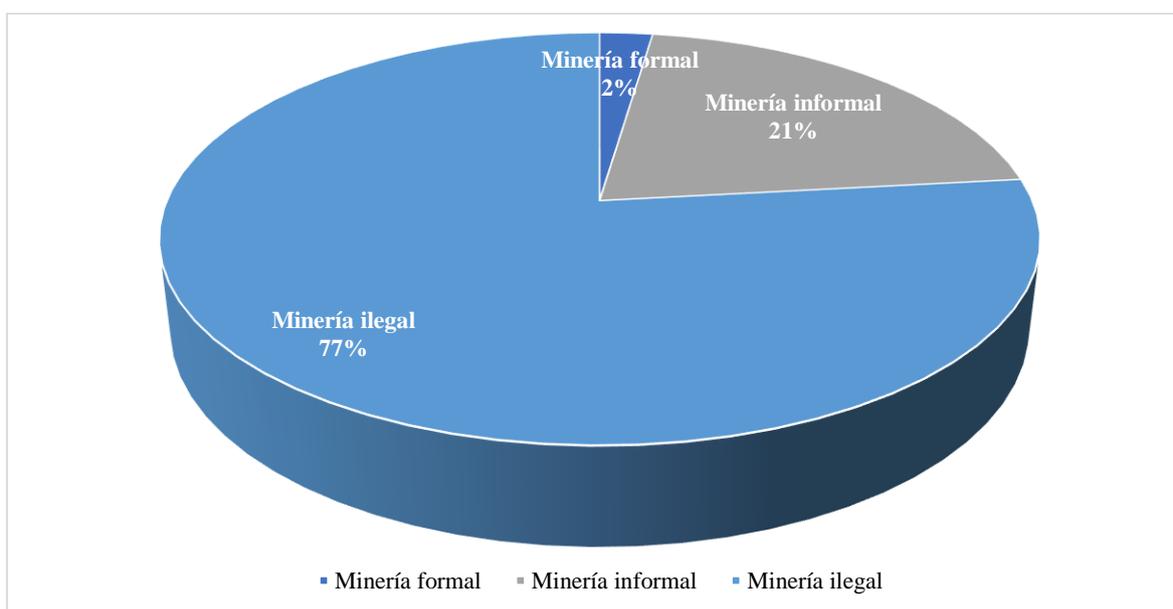
La Figura 20 muestra la distribución de las plantas en el distrito, todas se encuentran en la zona norte a pocos kilómetros de «Imperial La Aguadita».



**Figura 20: Ubicación de plantas procesadoras informales**

La aglomeración de estas plantas responde a la alta oferta de mineral aurífero proveniente de los centros mineros cercanos y a partir del incremento del precio internacional del oro; por ejemplo, en 2008 solo existía la «Planta de Beneficio Belén» de Minera Titán del Perú y ahora operan 20 plantas entre formales e informales.

De lo expuesto, el 77 % del total de plantas procesadoras son ilegales, representado principalmente por los quimbaletes, pues operan en zonas urbanas; sin embargo, la extensión a la que afecta el ambiente fue considerada local y muy intensa. Mientras que el 23 % restante, por los volúmenes procesados, la envergadura de las operaciones y las características descritas se consideró que tienen un área afectada mucho mayor pero que, dados los controles, su intensidad tiende a ser menor más no irrelevante.



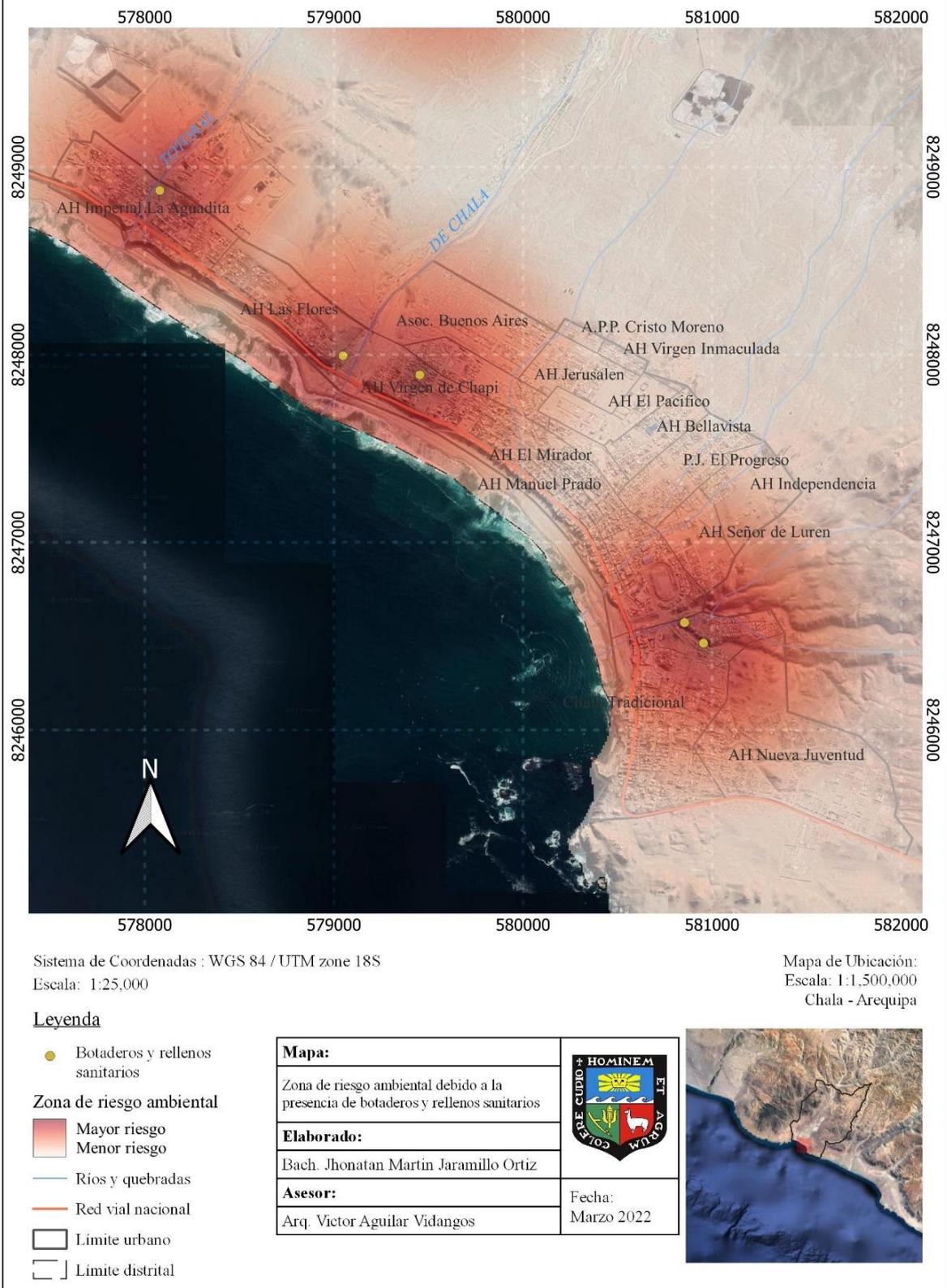
**Figura 21: Clasificación de las plantas de procesamiento (quimbaletes y de cianuración) ubicadas en Chala**

#### **d. Botaderos**

El trabajo «Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima – Callao durante el año 2004»,

muestra que la quema de residuos sólidos, las emisiones fugitivas de complejos industriales y la baja conciencia ambiental de la población para improvisar botaderos en las calles son las principales fuentes de contaminación en el ámbito urbano de Lima – Perú. Esta serie de factores parece repetirse en cada ciudad grande o pequeña del país (Silva y Montoya, 2006).

El área urbana de Chala, tal como sucede en la mayoría de las ocasiones, se ha expandido sin implementar un plan de desarrollo urbano u otra herramienta que permita una adecuada gestión del territorio. Su crecimiento desorganizado se traduce luego en un problema mayor, ya que se debe invertir mayores recursos en llevar infraestructura de servicios a la nueva población. La gestión de residuos sólidos urbanos es uno de los servicios que las municipalidades deben atender, en este sentido, la municipalidad distrital de Chala no ha tomado acciones en un plan al futuro. El gobierno municipal ha improvisado un relleno sanitario, sin criterios técnicos y sin manejo profesional a las afueras de la zona urbana. Los residuos sólidos que son recogidos no reciben ningún tratamiento ni se reciclan, solo se queman periódicamente, generando mayor contaminación del aire y lixiviados que contaminan el suelo. El marco normativo nacional para la gestión y manejo de residuos sólidos, Ley N.º 27314, «Ley General de Residuos Sólidos» y su modificatoria a través del Decreto Legislativo N.º 1065, y su Reglamento, Decreto Supremo N.º 057-2004-PCM, establece que la ubicación de un relleno sanitario (mecánico o manual), considere como mínimo 1 kilómetro de separación respecto a la población (MINAM, 2013). Por lo tanto, como se muestra en la Figura 22, se utilizará 1 kilómetro para definir el área de influencia del relleno sanitario municipal y de los botaderos que existen en Chala.



**Figura 22: Ubicación de botaderos y rellenos sanitarios**

En el trabajo de campo, además del relleno sanitario se contabilizó 5 botaderos en las quebradas secas o zonas desocupadas, donde la población ha venido desechando sus residuos sólidos y orgánicos. Evidentemente, este tipo de comportamiento guarda relación con la poca conciencia ambiental de los pobladores de Chala. Los botaderos no solo contienen residuos de la población sino también de los laboratorios de minerales que trabajan en la zona. Este tipo de residuos tienen alto contenido de metales pesados, sobre todo plomo, pues es utilizado en el proceso de cálculo del contenido de oro y plata del mineral.

#### e. Cementerios

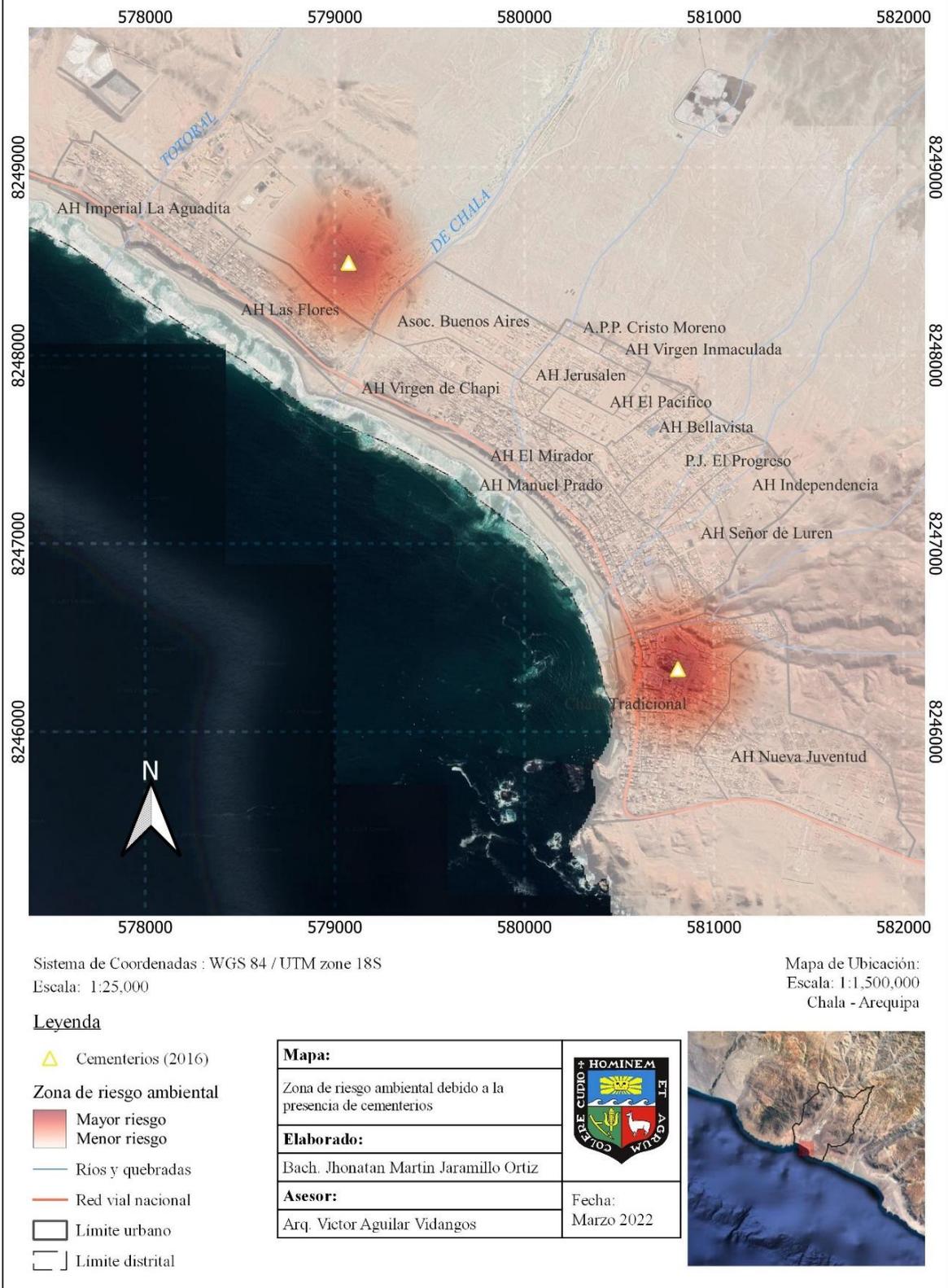
La población cuenta con 2 cementerios; el **primero** se llama «Cementerio Paz y Amor» y está ubicado en Chala Sur, fue construido hace más de 50 años y funciona bajo la supervisión de la municipalidad. El **segundo**, es el «Cementerio General de Chala», que se encuentra adyacente a Chala Sur, se inició su construcción el 2017. Ambos son mixtos, es decir, tienen zonas de sepultura bajo tierra y en nichos de concreto.

Los cementerios de Chala se encuentran adyacentes a la población, representan un riesgo potencial que se incluye en esta investigación. Este riesgo es motivado por la presencia de vectores debido a los cuerpos en descomposición en nichos, y por la lixiviación de materia orgánica hacia la capa freática en las sepulturas bajo tierra. Así también, la costumbre de dejar flores en envases con agua, lo que motiva la proliferación de mosquitos transmisores de enfermedades como el Zika.

En nuestro país la habilitación de cementerios está regulada por la Ley N.º 26298: Ley de Cementerios y Servicios Funerarios y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N.º 03-94-SA. Esta norma contiene parámetros sobre la extensión del cementerio en función a la población y recomienda las pendientes máximas, su ubicación respecto a fuentes hídricas y botaderos, tipo de terreno y nivel de la capa freática. Sin embargo, no establece parámetros para su ubicación respecto a distancia a la población. El artículo 15 del DS 03-94-SA indica respecto a la ubicación y las características arquitectónica:

- «Ubicación: Inciso II. Los cementerios públicos y privados estarán ubicados preferentemente en emplazamientos con suelo de textura arcillosa o arenosa, secos y con buen drenaje, orientados convenientemente en relación con los vientos dominantes para no afectar a las áreas pobladas, en ubicaciones con accesibilidad asegurada (peatonal y vehicular). La capa freática debe encontrarse a no menos de 2.50 metros de profundidad» (MINSa, 1994).
- «Características Arquitectónicas: Inciso III. El área destinada a sepulturas en un cementerio no puede estar situada a menos de diez (10) metros de un río, manantial o canal de riego abierto. Tampoco debe estar situado a menos de cien (100) metros de lugares donde se echa basura o en un lugar donde antes se haya depositado basura» (MINSa, 1994).

La Figura 23, muestra la distribución espacial de los cementerios en la zona urbana de Chala. Con el conocimiento de la zona y al no existir un parámetro de referencia para la ubicación de los cementerios se propuso 200 metros como radio para definir el área de influencia de este criterio.



**Figura 23: Ubicación de cementerios**

## **f. Grifos**

La minería, el transporte y el comercio son las principales actividades económicas en la zona. La venta de combustible está íntimamente ligada a estas actividades; por lo cual, se entiende la proliferación de grifos y estaciones de servicio. Se contabilizan 5 grifos; todos ubicados en la carretera panamericana sur. El sector «La Aguadita» tiene 2, «Chala Norte» cuenta con 2 y «Chala Sur» solo 1. Adicionalmente a los grifos, existe gran cantidad de talleres mecánicos, talleres de soldadura y reparaciones, talleres lubricantes y otros servicios, que también generan desechos tóxicos y contaminación directa sobre el suelo como derrames de aceites y combustibles. Estos no han sido considerados en este modelo (MINAM & ARMA, 2016).

Los grifos son considerados como fuentes fijas de contaminación atmosférica, aunque la contaminación se produzca de manera dispersa. En estos establecimientos se desarrollan diferentes actividades que emiten cantidades pequeñas de contaminantes pero que en conjunto son un aporte significativo a la atmósfera, más aún si se realiza un inadecuado manejo de las actividades (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2005; Sierra, 2019).

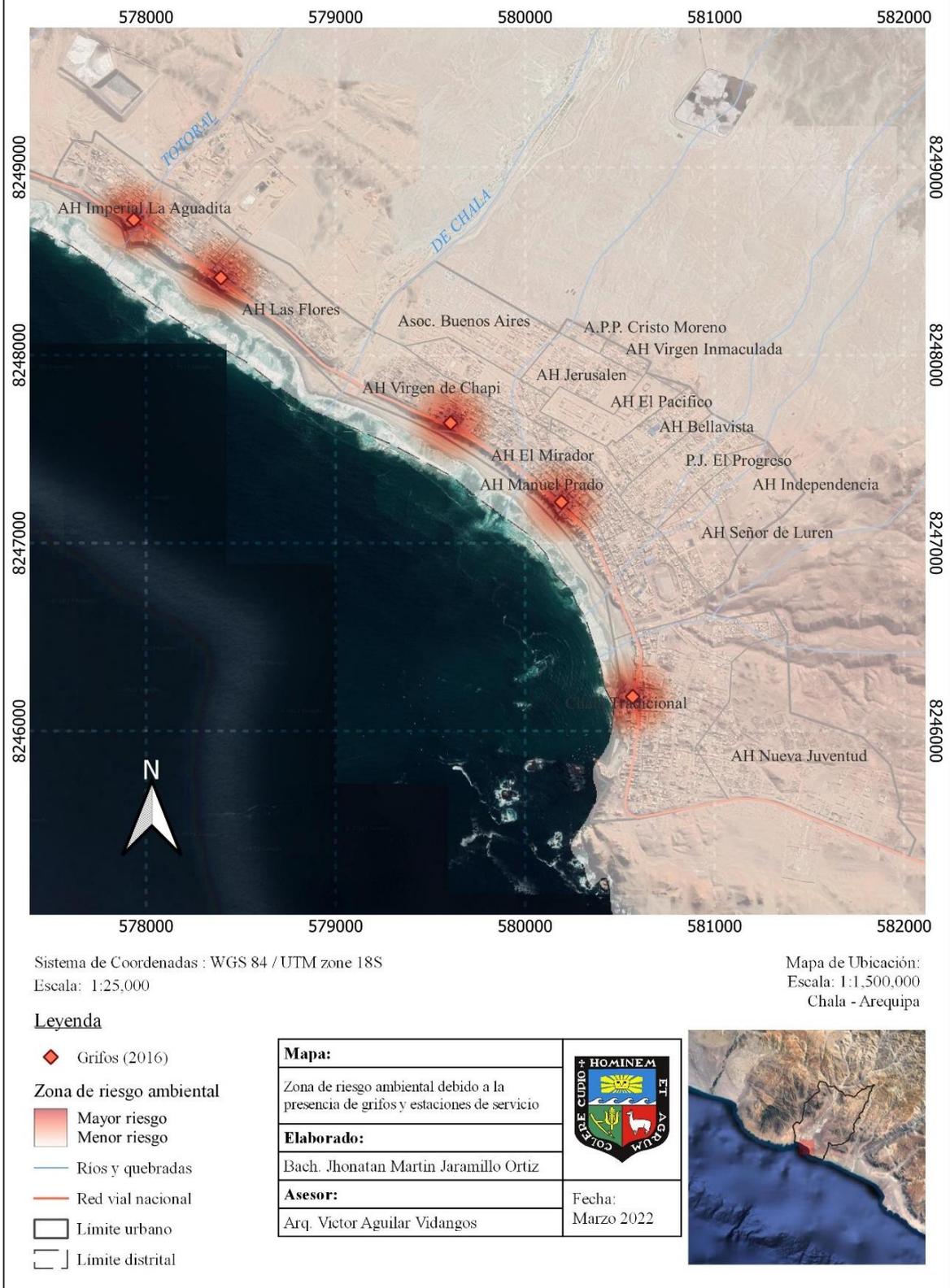
En Perú, el Decreto Supremo N.º 054-93-EM Reglamento de Seguridad para Establecimientos de Venta al Público de Combustibles Derivados de Hidrocarburos y sus modificatorias Decreto Supremo N.º 037-2007-EM, donde se dan las pautas para la instalación de grifos en zonas urbanas (MINEM, 1993).

En ese sentido, la normativa señala que para otorgar la Autorización de Construcción e Instalación de Estaciones de Servicio y Puestos de Venta de Combustibles (grifos), se exigirá las distancias mínimas siguientes:

- Siete metros con sesenta centímetros (7.60 m) de los linderos de las estaciones y subestaciones eléctricas y centros de transformación y transformadores eléctricos. Las medidas serán tomadas al surtidor o dispensador, conexiones de entrada de los tanques y ventilaciones más cercanas.

- Siete metros y sesenta centímetros (7.60 m) desde la proyección horizontal de las subestaciones o transformadores eléctricos aéreos hacia donde se puedan producir fugas de Combustible. Las medidas serán tomadas al surtidor o dispensador, conexiones de entrada de los tanques y ventilaciones más cercanas.
- Cincuenta metros (50 m) del límite de propiedad de la construcción o proyecto aprobado por la municipalidad de centros educativos, mercados, supermercados, hospitales, clínicas, iglesias, cines, teatros, cuarteles, zonas militares, comisarías o zonas policiales, establecimientos penitenciarios y lugares de espectáculos públicos que tengan Licencia Municipal o autorización equivalente para su funcionamiento. Las medidas serán tomadas al surtidor o dispensador, conexiones de entrada de los tanques y ventilaciones más cercanas» (MINAM, 2012).

Por otra parte, según la Ley 27972, Ley Orgánica de Municipalidades, las municipalidades provinciales son competentes para regular o pronunciarse sobre zonificación y urbanismo. En ese sentido pueden establecer sus propios parámetros para la ubicación de grifos en sus jurisdicciones. Por ejemplo, la Ordenanza Municipal 1359 de la Municipalidad Metropolitana de Lima publicada el 2010, establece que el proyecto de un nuevo grifo debe tener como mínimo una distancia no menor de 250 metros a otro establecimiento similar. La Figura 24 muestra las estaciones de servicio en el distrito de Chala. Con el conocimiento de las características de la zona y las referencias sobre seguridad vista en la legislación se ha designado un radio de 250 metros para la evaluación del riesgo.



**Figura 24: Ubicación de grifos**

#### **4.2. Modelo territorial en base a los factores de riesgo ambiental y habitabilidad**

El riesgo ambiental para la salud fue determinado por la combinación entre las áreas de influencia de cada criterio, su transformación con funciones de pertenencia difusa y las ponderaciones asignadas con el proceso de análisis jerárquico (AHP).

La investigación tomó 10 criterios que, según la información disponible y la revisión de literatura, estos criterios tienen relación directa con el deterioro del ambiente y de la salud de las personas. Los criterios seleccionados y las variables aplicadas al modelo se encuentran en el Anexo 2, mientras que las variables y sus funciones de pertenencia difusa se presentan en el Anexo 3.

La Tabla 18 muestra el resultado de la comparación de pares y la ponderación final. La experiencia y conocimiento del sector han sido útiles para dar sentido lógico a la comparación de pares, necesaria para identificar la importancia relativa de cada criterio. La razón de consistencia (RC) resultó 0.08, lo que indica que la tabla es consistente, cumple con las propiedades de transitividad y proporcionalidad y no tiene sesgo. Por lo tanto, es adecuada para establecer un único valor de riesgo ambiental para la salud en Chala.

**Tabla 18: Matriz de comparación en pares y asignación de ponderación**

criterio / Variable	Q	PI	B	AG	PF	AC	RE	CA	G	C	P %	
Distancia a quimbaletes	Q	1	1	3	3	5	7	7	7	7	9	27.29 %
Distancia a plantas informales	PI	1	1	1	3	3	3	5	5	5	7	18.96 %
Distancia a botaderos	B	1/3	1	1	3	1/3	3	5	3	3	5	12.78 %
Hogares sin agua potable	AG	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	3	3	3	5	7.72 %
Distancia a plantas formales	PF	1/5	1/3	3	3	1	3	5	5	3	7	14.80 %
Hogares sin alcantarillado	AC	1/7	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1	1	3	4.62 %
Hogares sin red eléctrica	RE	1/7	1/5	1/5	1/3	1/5	1	1	3	3	3	5.03 %
Calles sin asfalto	CA	1/7	1/5	1/3	1/3	1/5	1	1/3	1	1	3	3.54 %
Distancia a grifos	G	1/7	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	1	1	3.21 %
Distancia a cementerios	C	1/9	1/7	1/5	1/5	1/7	1/3	1/3	1/3	1	1	2.06 %

Razón de consistencia = 0.08; aceptable si es menor o igual a 0.1. Para la evaluación del riesgo ambiental para la salud se consideró como más importantes los criterios de carácter ambiental y los ligados a la actividad minera de pequeña escala. Fuente: Adaptado de Di Pietri (2011)

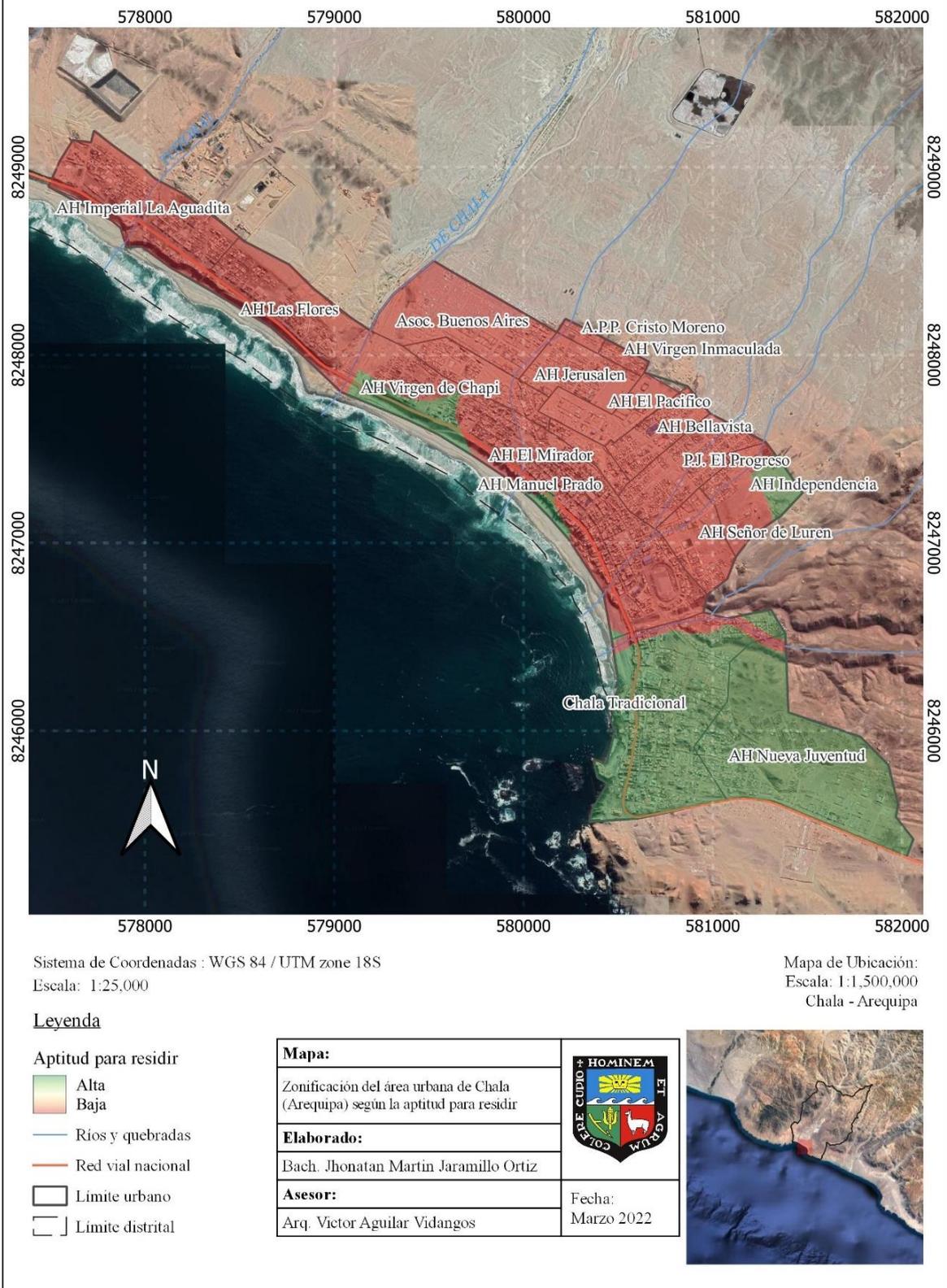
### 4.3. Mapa de zonificación del territorio en función a la aptitud para residir

Como objetivo de esta investigación, como se muestra en la Tabla 19, el resultado se clasificó en 2 zonas:

**Tabla 19: Resumen de los resultados**

Zonificación del territorio en función a la aptitud para residir	Área (ha)	%
Alta aptitud para residir	162.00	40 %
Baja aptitud para residir	240.00	60 %
Total	403.00	100 %

La condición «Baja Aptitud Para Residir» está en 60 % del área de estudio, lo que corresponde a «Chala Norte» y «La Aguadita». Estas zonas tienen una cantidad de población importante, sobre todo en las zonas bajas, cercanas a la carretera panamericana y las principales zonas de comercio.



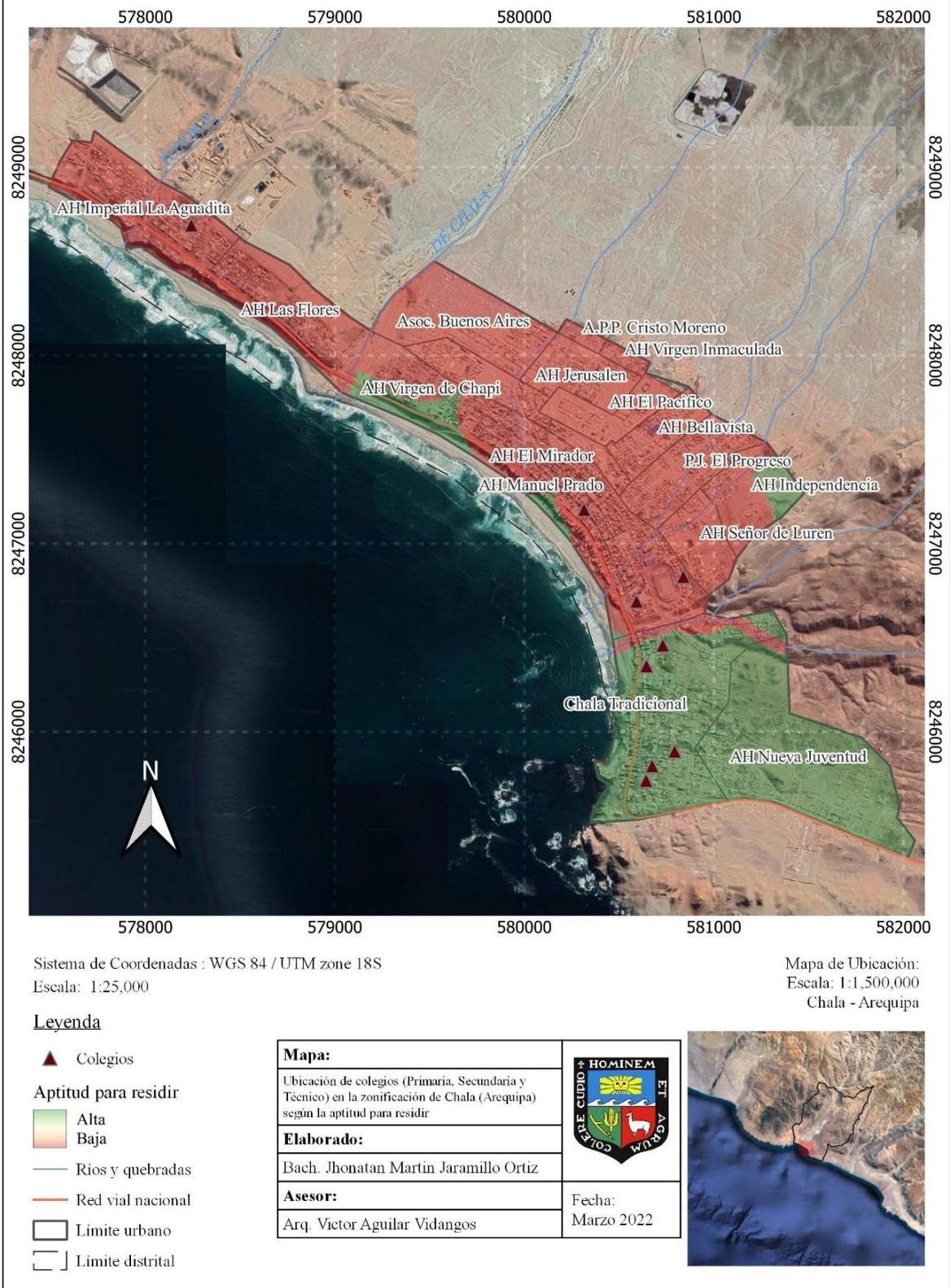
**Figura 25: Resultado final de la zonificación en Chala**

**Tabla 20: Área de las urbanizaciones de Chala según el Riesgo Ambiental para la salud resultado de la evaluación**

Zona	Nombre de urbanización	Riesgo Alto	Riesgo Bajo
La Aguadita	AA. HH. «Imperial La Aguadita»	100 %	
	AA. HH. «Las Flores»	100 %	
Chala Norte	Asociación de Pequeños Productores «Cristo Moreno»	100 %	
	AA. HH. «Bellavista»	100 %	
	AA. HH. «El Mirador»	100 %	
	AA. HH. «El Pacífico»	100 %	
	AA. HH. «Independencia»	61 %	39 %
	AA. HH. «Jerusalén»	100 %	
	AA. HH. «Manuel Prado»	59 %	41 %
	AA. HH. «Señor de Luren»	100 %	
	AA. HH. «Virgen De Chapi»	100 %	
	AA. HH. «Virgen Inmaculada»	100 %	
	Asociación de Vivienda «Buenos Aires»	100 %	
	Pueblo Joven «El Progreso»	100 %	
Chala Sur	Chala Tradicional		100 %
	AA. HH. «Nueva Juventud»		100 %

La urbanización Chala Tradicional es la urbanización más antigua y capital del distrito, alejada de las zonas donde se ha venido desarrollando la minería aurífera. La condición «Alta Aptitud Para Residir» está en 40 % del área de estudio, lo que corresponde a una parte de las urbanizaciones Independencia y Manuel Prado ubicadas en Chala Norte y toda el área de Chala Sur, zonas que albergan la mayor cantidad de población y donde realizan la mayoría de sus actividades, ya que ahí se encuentran los colegios, hospitales y mercados.

Esta situación, motiva a la toma de acciones por parte de las autoridades locales y regionales sobre la calidad ambiental del territorio. Tres de los 15 colegios existentes en Chala, han sido ubicados en lo que este estudio identificó como de baja aptitud para residir.



**Figura 26: Ubicación de instituciones educativas (nivel inicial, primario, secundario y técnico) dentro de la zona urbana de Chala, según el resultado de la aptitud para residir**

El modelo propuesto, evaluó, que los quimbaletes son los que representan mayor riesgo ambiental para la salud, su impacto sobre el territorio es puntual y focalizado, mientras que las plantas de procesamiento y sus relaveras son las que generan un mayor riesgo para la salud debido al volumen de material que procesan y el alcance al que es capaz de llegar, de acuerdo con los resultados de la investigación de (MINAM & ARMA, 2016).

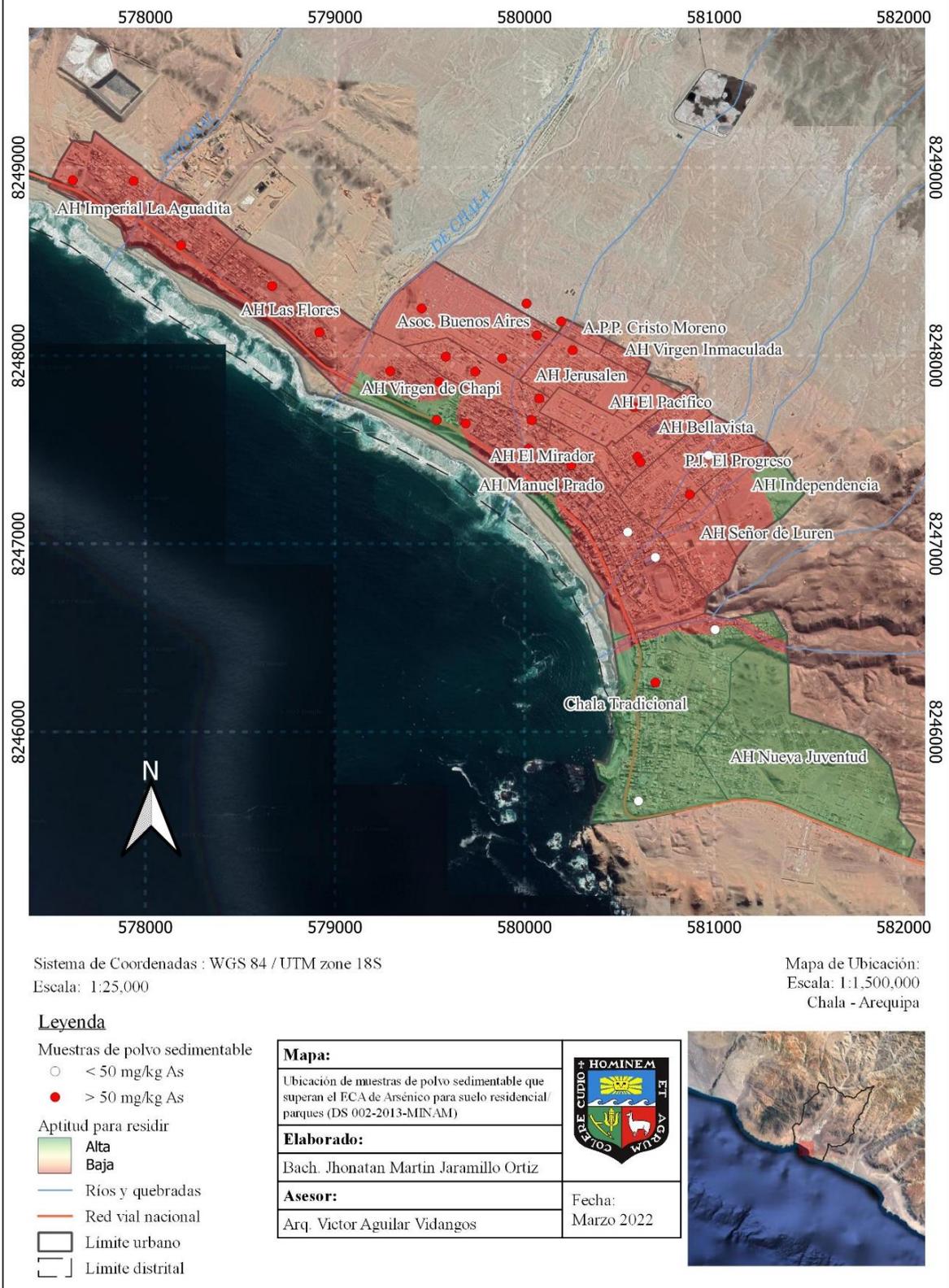
En la Figura 27, las zonas con tonalidades en rojo representan las áreas de mayor riesgo ambiental para la salud, en consecuencia, bajas condiciones de habitabilidad. Los resultados obtenidos son semejantes a la investigación de MINAM & ARMA (2016), donde se identificaron a «La Aguadita» y «Chala Norte», como áreas de potencial interés (API) para evaluaciones más profundas a nivel de contaminación de suelos y polvo sedimentable.

Corresponde con esta relación que, de las muestras de suelo y polvo sedimentable tomadas para el estudio y cuyos valores encontrados superan el ECA para Suelo, se han ubicado:

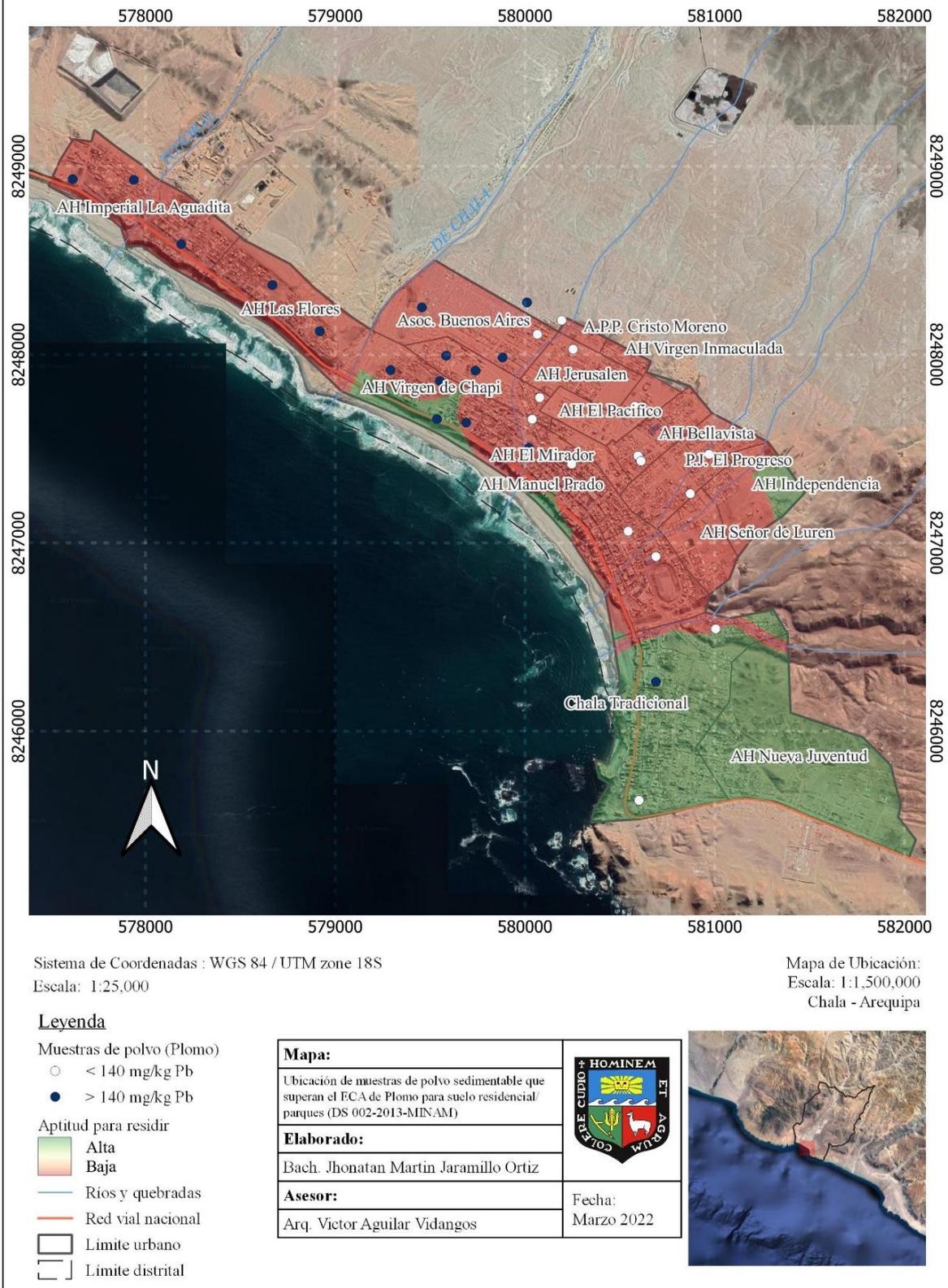
**Tabla 21: Número de muestras ubicadas en zonas de Alta y Baja aptitud para residir**

Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo	Aptitud para residir	
	Alta	Baja
Muestra con contenido de Plomo (Pb) según ECA para suelo de uso residencial o parque		
Número de muestras con Pb sobre 140 mg/kg	1	15
Número de muestras con Pb bajo 140 mg/kg	1	16
Muestras con contenido de Arsénico (As) según ECA para suelo de uso residencial o parque		
Número de muestras con As sobre 50 mg/kg	1	27
Número de muestras con As bajo 50 mg/kg	1	4

FUENTE: Adaptado de MINAM & ARMA (2016)



**Figura 27:** Ubicación de las muestras con contenido de arsénico en el estudio de MINAM y ARMA (2016) y la zonificación del riesgo ambiental para la salud en Chala



**Figura 28: Ubicación de las muestras con contenido de plomo en el estudio de MINAM y ARMA (2016) y la zonificación del riesgo ambiental para la salud en Chala**

#### **4.4. Discusión de resultados**

Una de las grandes motivaciones para realizar el presente trabajo de investigación; es el tiempo, y los recursos necesarios requeridos para caracterizar los riesgos para la salud humana presentes en un área geográfica determinada; como por ejemplo el distrito de Chala, que cuenta con una actividad minera intensiva, como muchas localidades en el territorio peruano.

Desde el punto de vista metodológico, la presente investigación plantea la aplicación de un modelo matemático, el cual, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica, es capaz de predecir las zonas de mayor riesgo para la salud con miras a la planificación urbana. Los resultados muestran que el modelo es capaz de producir resultados compatibles con estudios más complejos, lo cual coincide con lo presentado por Di Pietri (2011). Además, el planteamiento de buscar alternativas que faciliten la evaluación del impacto ambiental es acorde a la preocupación de diversos autores (Ferrer, 2016).

El uso de la lógica difusa, y la elección de la función lineal para transformar las distancias a una variable comparable entre sí, brinda un panorama distinto en relación con el uso de límites clásicos que representan la realidad de manera más sesgada. Por otra parte, el ejercicio de jerarquización de las variables seleccionadas considerando la importancia o efecto que cada uno de estos tiene de manera individual sobre el fenómeno de contaminación ambiental y afectación de la salud humana.

Con respecto a los factores tomados en cuenta para el modelo de evaluación del riesgo para la salud de un determinado punto geográfico, el estudio contrasta con el modelo planteado por Di Pietri (2011), dado que los datos de desarrollo urbanísticos no son suficientes para establecer el modelo en una región como Chala, cuyo factor ambiental más importante es el gran impacto que ha recibido por parte de la actividad minera característica de la región. Esto implicó, que se deban incluir factores de riesgo que evidencien la actividad minera en el modelamiento y caracterización de las zonas según el riesgo para la salud que presentan.

Se seleccionó las distancias a quimbaletes y botaderos, así como la lejanía a plantas mineras formales o informales, lo cual ha permitido al estudio, no solo basar sus resultados en los

factores de desarrollo urbanístico, sino también en el impacto de la actividad minera, jerarquizando cada factor según la gravedad de los impactos en la salud humana. Los resultados definitivamente son acordes a lo planteado por ARMA (2014).

Con respecto al distrito de Chala, se puede observar en los resultados de la presente investigación, que la fuente de mayor contaminación, por el uso de mercurio, son los 64 quimbaletes presentes en el distrito de Chala, y distribuidos a lo largo del mismo; sobre todo en las áreas de Chala Norte y La Aguadita. Asimismo, se reconoce que el área que mayor aptitud para residir, dado el bajo riesgo ambiental para la salud que presenta, son las localidades correspondientes a Chala Sur, lo cual concuerda con MINAM y ARMA (2016).

## V. CONCLUSIONES

Sobre la base del análisis e interpretación de los resultados de la investigación, se presentan las siguientes conclusiones:

1. Fue posible generar un modelo territorial que integra los factores de contaminación ambiental y condiciones de habitabilidad del área urbana del distrito de Chala, provincia Caravelí, región Arequipa. Se pudo determinar, que el área correspondiente a «Chala Norte» presenta el mayor riesgo de contaminación ambiental, mientras que «Chala Sur» presenta menos riesgo, sumado a un mejor acceso a los servicios públicos.
2. Se realizó la zonificación sobre la base de la aptitud para residir en el distrito de Chala y se estableció que la condición de baja aptitud para residir está en 60 % del área de estudio, lo que corresponde a «Chala Norte» y «La Aguadita». Estas zonas tienen una cantidad de población importante; sobre todo, en las zonas bajas, mientras que la zona de «Chala Sur» muestra en casi todo su territorio la condición de alta aptitud para residir.
3. La aplicación del método de evaluación multicriterio aplicado en este estudio, se valida como una herramienta de empleo inicial en la investigación ambiental, para zonas urbanas de territorios y/o regiones que presenten actividad minera.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Aplicar el método multicriterio en la evaluación inicial de proyectos de urbanización en sectores con antecedentes de actividades minera, para orientar estudios más específicos y concretos en las áreas críticas que se obtengan como resultado.
2. Complementar los indicadores, tanto de contaminación ambiental como de habitabilidad para adaptar el modelo a otras regiones y zonas de acuerdo con sus características particulares.
3. Validar el modelo, de acuerdo con su aplicación en zonas similares mediante la comparación con resultados obtenidos, previamente en base a estudios más completos, que incluyan toma de muestras para el análisis del nivel de contaminación.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alianza por la Minería Responsable [ARM]. (2016). *Beneficio del oro*. Medellín: ARM.
- Aragon-Piña, A., Campos-Ramos, A., Leyva Ramos, R., Hernandez-Orta, M., Miranda-Ortiz, N., y Luszczewski-Kudra, A. (2006). Influencia de las emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 5-19.
- Autoridad Regional Medioambiental de Arequipa [ARMA]. (2014). *Evaluación del riesgo ambiental para la salud humana y el medio ambiente en Mollehuaca, Arequipa*. Arequipa: GORE - Arequipa.
- Barredo, J.I. (1996). *Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica en la ordenación del territorio*. 250. Madrid: Ra-Ma.
- Calderon-Urquiza Carbonel, A.V. (2017). Análisis espacial para la identificación de áreas prioritarias para la restauración del paisaje forestal en la amazonia de Huánuco (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Caloni, N. (2010). Análisis espacial de evaluación multicriterio en la generación de alternativas viales para el trazado de la autopista Lujan - Mercedes (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina.
- Carranza, D. (Junio de 2008). Aplicación de la lógica difusa para la ubicación de especies faunísticas y florísticas, y su comparación con otros métodos geoestadísticos (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador, Quito, Ecuador.
- Comisión Económica para América Latina [CEAL]. (2008). Metodología multicriterio para la priorización y evaluación de proyectos. Organización de las Naciones Unidas.
- Corral, A., De La Mora, A., Cota, A., Corral, R., Carrasco, K., y Santana, L. (2009). La cartografía de riesgo como instrumento técnico para la reubicación de la industria ladrillera del municipio de Juárez, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, I(26), 27-34.
- Cuentas, M., y Velarde, J. (2019). Uso del mercurio en La Rinconada, Puno. *Revista de Medioambiente y Minería*, 27-34.

- De Cos Guerra, O. (2007). SIG y evaluación multicriterio: propuesta metodológica para cuantificar el grado de metropolización del territorio. *Mapping*, 6-12.
- De Pietri, D., Dietrich, P., Mayo, P., y Carcagno, A. (2011). Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, IV(30), 377-387.
- Diario La República. (18 julio de 2019). Sociedad Eléctrica del Sur amplía subestación en beneficio de 37 mil familias de Arequipa. *Diario La República*. Recuperado de <https://larepublica.pe/economia/2019/07/18/sociedad-electrica-del-sur-amplia-subestacion-en-beneficio-de-37-mil-familias-de-arequipa/>
- Diario Perú 21. (2017). Arequipa: Sedapar disminuyó abastecimiento de agua en 10 zonas. Diario Perú 21. Recuperado de <https://peru21.pe/lima/arequipa-sedapar-disminuyo-abastecimiento-agua-10-zonas-64729-noticia/>
- Diario RPP. (2014). Arequipa: Pobladores de Chala acatan paro contra SEAL. Diario RPP. Recuperado de <https://rpp.pe/peru/actualidad/arequipa-pobladores-de-chala-acatan-paro-contra-seal-noticia-701489>
- Díaz, F. (2014). Mercurio en la minería del oro: Impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 947-957.
- Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA]. (2005). *Inventario de emisiones de fuentes fijas en la cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa, Perú*. Arequipa: DIGESA.
- Ernst and Young [E&Y]. (2019). *Peru's mining & metals investment guide 2019/2020*. Lima: Proinversión, Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Escobar, R., Arista, F., y Jaramillo, J. (2018). *Formalización minera de pequeña escala en Latinoamérica*. Lima: Solidaridad.
- Espinoza, R. (2019). Plan de mantenimiento en base a registros históricos de falla en redes de distribución eléctrica Arequipa (Tesis de maestría). Universidad Nacional San Agustín, Arequipa, Perú.
- ESRI. (2014). *Aplicar lógica difusa a rásteres de superposición*. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/applying-fuzzy-logic-to-overlay-rasters.htm>
- ESRI. (2014). *Cómo funciona la pertenencia difusa*. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-fuzzy-membership-works.htm>

- ESRI. (2014). *Vista general de las herramientas de superposición*. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-overlay-tools.htm>
- Ferrer, Y. (2016). Seguimiento en el tiempo de la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros. *Revista Luna Azul*, I(42), 256-269.
- Gálvez, P. (2016). *Minera Yanaquihua SAC y formalización minera*. Lima: ESAN.
- Garcés Ortega, J.H. (2015). *Aplicación de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para el modelado de la capacidad de acogida para la localización de viviendas de mediana densidad. Caso de estudio Cuenca del río Guadalajara - Valle del Cauca (Tesis de pregrado)*. Universidad del Valle, Valle del Cauca, Colombia.
- García, M.L., Payan, L., y Venegas, B.A. (2015). Analysis of Sustainable Development in Local Spaces: The Application of the Theory of Fuzzy Sets. *Íconos*, 20(54), 171. doi:10.17141/iconos.54.2016.1454
- Garfías, R., Castillo, M., y Yañez, A. (2012). Método fuzzy para la identificación de áreas potenciales para la producción de leña. Aplicación de caso: comuna Empedrado, Maule, Chile. *GEOGRAPHICALIA*, 61, 5-23.
- González, C. (2012). *Lógica difusa, una introducción practica - Técnicas de softcomputing*. Castilla La Mancha: Universidad de Castilla La Mancha.
- Hermenegildo Chavez, M.V., y Rueda Osuna, Y. (Julio de 2013). Metodología de analisis multicriterio, aplicación al crecimiento sostenible de la Unión Europea. *Investigación de la Fac. de Ciencias Administrativas*, 16(31).
- IIED. (2010). *Capítulo 13: Minería Artesanal y de Pequeña Escala*. Londres: IIED.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018). *Estadística poblacional*. Recuperado de [https://www.minsa.gob.pe/reunis/data/poblacion\\_estimada.asp](https://www.minsa.gob.pe/reunis/data/poblacion_estimada.asp)
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. (2005). *Minería a pequeña escala en la costa sur media del Perú*. Lima: INGEMMET.
- Instituto Peruano de Economía [IPE]. (2017). *El valor agregado de la minería*. Lima: IPE.
- Ipenza, C. (2012). *Manual para entender la pequeña minería y la minería artesanal y los decretos legislativos vinculados a la minería ilegal*. Lima: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA).
- Javier, L. (2015). *Sistema de información geográfica y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos: propuesta para la provincia de Huánuco (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

- Kuramoto, J. (2001). *La minería artesanal e informal en el Perú*. Lima: Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE).
- Lopez Lopez, D. (2015). Diseño y elaboración de mapas conceptuales para la toma de decisiones multicriterio (Proyecto de fin de carrera). Universidad de Sevilla, Andalucía, España.
- López, J. (2001). Lógica difusa. Recuperado de [http://members.tripod.com/jesus\\_alfonso\\_lopez/FuzzyIntro.html](http://members.tripod.com/jesus_alfonso_lopez/FuzzyIntro.html)
- López, M., Santos, J., Quezada, C., Segura, M., y Pérez, J. (2016). Actividad minera y su impacto en la salud humana. *Revista Ciencia UNEMI*, 92-100.
- Martin, P. (2005). Contaminación del aire por material particulado en la ciudad de Buenos Aires, Argentina (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Medina, G. (2015). *Formalización de la minería en pequeña escala*. Arequipa: Better Gold Initiative (BGI).
- Minera Confianza. (2013). Proyecto Planta de Beneficio Confianza. *Instrumento de gestión ambiental correctivo*. Chala, Caravelí, Perú.
- Minera Jerusalén. (2012). Planta de Beneficio Jerusalén. *Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo*. Chala, Caravelí, Arequipa.
- Minera Titán del Perú. (2014). Planta de Beneficio Belén - Ampliación de operación de beneficio hasta 200 toneladas/día. *Estudio de impacto ambiental*. Chala, Caravelí, Arequipa.
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (1993). DS 054-93-EM Reglamento de Seguridad para Establecimientos de Venta al Público de Combustibles Derivados de Hidrocarburos. *El Peruano*. Lima, Perú.
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2018). *Compendio normativo del proceso de formalización minera integral y minería ilegal*. (D. G. Minera, Ed.) Lima, Perú: MINEM. Recuperado de [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacionesDownload.php?idPublicacion=574](http://www.minem.gob.pe/_publicacionesDownload.php?idPublicacion=574)
- Ministerio de Salud [MINSAL]. (1994). D.S. N.º 03-94-SA - Reglamento de la Ley de Cementerios y Servicios Funerarios. *Diario El Peruano*. Lima, Perú.
- Ministerio de Salud [MINSAL]. (2011). R.M. N.º 258-2011-MINSAL - Política Nacional de Salud Ambiental 2011 – 2020. *El Peruano*.
- Ministerio del Ambiente [MINAM] y Autoridad Medioambiental de Arequipa [ARMA]. (2016). Evaluación preliminar de la contaminación ambiental causada por la pequeña

- minería y minería artesanal en la zona urbana del distrito de Chala. Arequipa: Autoridad Medioambiental de Arequipa [ARMA].
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2010). Guía de evaluación de riesgos ambientales. Lima, Perú: MINAM.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2012). Metodología para la estimación del nivel de riesgo de pasivos ambientales en el subsector hidrocarburos. Lima, Perú: MINAM.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados. Lima, Perú: MINAM.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2018). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de micro relleno sanitario manual. Lima, Perú: MINAM.
- Monroy, M., Diaz-Barriga, F., Razo, I., y Carrizales, L. (2002). *Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados y análisis de riesgo en salud en Villa La Paz, Matahuala*. San Luis Potosí: Instituto de Metalurgia de la Universidad San Luis Potosí.
- Monteagudo, F. (2001). Evaluación de la contaminación por mercurio en la población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena, Ayacucho (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Municipalidad de Chala. (2014). Mejoramiento del Estadio Municipal de Chala. *Proyecto de inversión pública*. Chala, Caravelí, Arequipa.
- Navoni, J., De Pietri, D., García, S., y Villaamil, E. (2012). Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Panamericana de la Salud*, I(31), 1-8.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2013). *Reporte público del informe de supervisión directa*. Lima: OEFA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (10 de octubre de 2017). *Perú: 100 mil personas más con hambre según última medición de FAO y OPS*. Recuperado de <http://www.fao.org/peru/noticias/detail-events/es/c/1042970/>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2002). *Informe sobre la salud en el mundo*. Paris: World Health Report.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2006). *Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease*. Ginebra: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.

- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2019). Cómo la contaminación del aire está destruyendo nuestra salud. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>
- Orihuela, J., Hinojosa, L., Huaroto, C., y Pérez, C. (2019). *Los costos de la contaminación minera: género, bienestar e instituciones*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Pachas, V. (2005). *Relacionamiento entre actores sociales y apuntes sobre el proceso de formalización de la minería artesanal en Canta*. Lima: Cooperación.
- Pachas, V. (2011). *Historia de una incertidumbre: Habitat, conflicto y poder en la minería artesanal de oro de Perú*. Lima: Earth First SAC.
- Paruelo, J., Jobbágy, E., Littera, P., Dieguez, H., García, A., y Panizza, A. (2014). *Ordenamiento territorial rural. Conceptos, métodos y experiencias*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Pérez Navarro, A., Botella Plana, A., Muñoz Bollas, A., Olivella González, R., Olmedillas Hernández, J. C., y Rodríguez Lloret, J. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. Barcelona: UOC.
- Pérez-Martínez, I., y Martín, F. (2015). Uso de parámetros indirectos para la evaluación de la contaminación de suelos por metales pesados en una zona minera de San Luis Potosí, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 1-12.
- Proactivo. (2021). Costos de los EIA en el Perú va entre US\$ 500 mil y US\$ 1 millón. Recuperado de <https://proactivo.com.pe/costos-de-los-eia-en-el-peru-va-entre-us-500-mil-y-us-1-millon/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2008). *El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala*. Nairobi: UNEP.
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C. y Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 149-155.
- Quisocala, E. (2016). Análisis multicriterio para evaluación y priorización para la conservación de corredores viales por niveles de servicio (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Rodríguez Luna, S. (2012). Localización de áreas de potencial explotación minera, que no afecte la dinámica ambiental y territorial del Municipio de Marmato, utilizando sistemas de información geográfica (Tesis de pregrado). Universidad de Manizales, Caldas, Colombia.

- Rodríguez, J., Trotman, J., De La Fuente, M., y Mena, R. (2002). *Contaminación atmosférica resultante del proceso productivo en el Centro de Investigaciones Siderúrgicas*. Recuperado de <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Ecosolar/Ecosolar23/HTML/articulo05.htm>
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa [SEDAPAR]. (2019). *Indicadores de Gestión de la Gerencia de Planeamiento y Desarrollo Empresaria - 2018*. Arequipa: SEDAPAR.
- Shiru, N. (2001). *La contaminación industrial en los países en desarrollo*. Madrid: INSHT & INSST.
- Sierra, N. (2019). Evaluación de fuentes de emisión de metales tóxicos en las partículas y agua de niebla en las lomas de Asia (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Silva Cotrina, J. y Montoya Cabrera, Z. (2006). Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima-Callao durante el año 2004. *Acta Nova*, III(2).
- Sociedad Eléctrica del Sur Oeste SA [SEAL]. (2019). *Plan Operativo de Transmisión*. Lima: OSINERGMIN.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía [SNMPE]. (2018). *Boletín Estadístico Minería Peruana Año 2017*. Lima: Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2011). *Informe final de supervisión a SEDAPAR SA*. Arequipa: SUNASS.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2014). *Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la empresa de servicio de agua potable y alcantarillado SEDAPAR S.A. para el quinquenio 2014 - 2019*. Lima: SUNASS.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2015). *Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la empresa de servicio de agua potable y alcantarillado SEDAPAR S.A. para el quinquenio 2015 - 2020*. Lima: SUNASS.
- Tobon, W. (2013). *Información sobre biodiversidad para la conservación medioambiental*. México: CONABIO.

- Torres-Nerio, R., Domínguez-Cortinas, G., Van't Hooft, A., Díaz-Barriga, F., y Cubillas-Tejeda, A. (2010). Análisis de la percepción de la exposición a riesgos ambientales para la salud, en dos poblaciones infantiles, mediante la elaboración de dibujos. *Salud colectiva*(6), 65-81.
- Toskano Hurtado, G.B. (2012). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Wallo, A., y Cuesta, O. (2012). Utilización de un SIG en el estudio del riesgo, como base para la implementación de un sistema de vigilancia epidemiológica para la contaminación atmosférica. (I. d. Habana, Ed.) *Salud y territorio - De aeribus, aquis et locis*, I(1), 109-115.
- Wotruba, H., y Vasters, J. (2002). *Estudio para mejorar el proceso de quimbaleteo minimizando las pérdidas altas de mercurio*. Huanca: Proyecto GAMA.
- Zamarreño, R., González, P., Hanshing, E., Amar, G., y Pizarro, C. (2013). Evaluación del riesgo ambiental por la presencia de mercurio en relaves mineros dentro de la ciudad de Andacollo, Chile. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, 75-83.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Índice de acrónimos y palabras claves

- AHP : Proceso de análisis jerárquico
- DGFM : Dirección General de Formalización Minera
- EFA : Entidad de Fiscalización Ambiental
- GM : Gran minería
- GORE : Gobierno Regional
- IGAC : Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo
- OEFA : Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- ONU : Organización de las Naciones Unidas
- OSINERGMIN : Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
- PMA : Productor minero artesanal
- PPM : Pequeño productor minero

## Anexo 2: Criterios y variables aplicadas al modelo

Variable	Fuente de Dato	Información Original Dato Gráfico	Dato Temático Original	Información Espacial Derivada – Dato Gráfico	Dato Temático Derivado
Criterios indicadores de exposición:					
1. Variables de contaminación ambiental para la salud					
Distancia a quimbaletes	OTA - Chala Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Punto	Distancia en metros Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia en la clase de viviendas alejadas de quimbaletes
Distancia a plantas de procesamiento con cianuro (informales)	OTA - Chala Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Polígono	Distancia en metros Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de relaveras
Distancia a plantas de procesamiento con cianuro (formales)	Ministerio de Energía y Minas (MINEM) Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)	Formato: Vectorial Entidad: Polígono	Distancia en metros Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia en la clase de viviendas alejadas de canchas de mineral
Distancia a botaderos	Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Punto	Distancia en metros Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de botaderos
Distancia a cementerios	Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Punto	Distancia en metros Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de cementerios
Distancia a grifos y estaciones de servicio	Ministerio de Energía y Minas (MINEM) Osineergmin Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Punto	Distancia en metros Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de estaciones de servicio

«Continuación»

2. Variables de habitabilidad					
Hogares con agua potable	Municipalidad de Chala Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Polígono	Zonas con agua potable Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia en la clase de hogares con agua de red. Dato cualitativo
Hogares con alcantarillado	Municipalidad de Chala Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Polígono	Zonas con alcantarillado Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia en la clase de hogares con alcantarillado. Dato cualitativo
Hogares con red eléctrica	Municipalidad de Chala Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Polígono	Zonas con red eléctrica Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia en la clase de hogares con red eléctrica. Dato cualitativo
Vías asfaltadas	Municipalidad de Chala Trabajo de campo	Formato: Vectorial Entidad: Polígono	Zonas con vías asfaltadas Dato continuo	Formato: ráster Entidad: celda 5x5 m Proyección WGS 1984 - Zona 18	Grado de pertenencia a la clase de viviendas con vías asfaltadas. Dato cualitativo
Modelo Espacial Resultante: Riesgo ambiental para la salud	Aplicación de la evaluación multicriterio con la información espacial precedente.	Formato: Ráster Entidad: Celda	Dato cualitativo	Formato: vectorial Entidad: polígono Proyección WGS 1984 - Zona 18	Estratificación del territorio en riesgo ambiental para la salud. Dato cualitativo

*Nota.* La información cartográfica se obtuvo del Municipio de Chala, de fuentes oficiales y trabajo de campo. El datum WGS1984 es el oficial para Perú.

FUENTE: Adaptado de Di Pietri *et al.* (2011).

### Anexo 3: Variables y sus funciones de pertenencia

Condición	Variable	Tendencia	Variable y punto de inflexión	Función de pertenencia difusa
Riesgo para la salud por contaminación ambiental por la presencia de polvo atmosférico que contiene metales pesados y liberación de otras sustancias peligrosas para la salud humana.	Distancia a quimbaletes.	Lineal. A mayor distancia de los quimbaletes, menor riesgo ambiental para la salud.	Hasta un radio de 100 metros el área se considera de alto riesgo y de riesgo potencial a menos de 500 metros.	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 100 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (100,500) \\ 0, & Si x \geq 500 \end{cases}$
	Distancia a plantas formales.	Lineal. A mayor distancia de las plantas formales, menor riesgo ambiental para la salud.	Hasta un radio de 200 metros el área se considera de alto riesgo y de riesgo potencial a menos de 3000 metros.	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 200 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (200,3000) \\ 0, & Si x \geq 3000 \end{cases}$
	Distancia a plantas informales.	Lineal. A mayor distancia de las plantas informales, menor riesgo ambiental para la salud.	Hasta un radio de 500 metros el área se considera de alto riesgo y de riesgo potencial a menos de 3000 metros.	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 500 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (500,3000) \\ 0, & Si x \geq 3000 \end{cases}$
	Distancia a grifos y estaciones de servicio.	Lineal. A mayor distancia a grifos, menor riesgo ambiental para la salud.	Hasta un radio de 500 metros el área se considera de riesgo potencial.	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 0 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (0,500) \\ 0, & Si x \geq 500 \end{cases}$
	Índice hogares con acceso a calles asfaltadas.	Lineal. La urbanización con mayor cantidad de calles no asfaltadas tendrá mayor riesgo ambiental para la salud.	Índice de hogares con acceso a calles asfaltadas, desde 0 a 10. El riesgo disminuye proporcionalmente con la existencia de calles asfaltadas.	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 1 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (1,10) \\ 0, & Si x \geq 10 \end{cases}$
Riesgo para la salud por contaminación a causa de materia orgánica en descomposición.	Distancia a botaderos.	Lineal. A mayor distancia de botaderos, menor riesgo ambiental para la salud	Hasta un radio de 1000 metros el área se considera de riesgo potencial	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 0 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (0,1000) \\ 0, & Si x \geq 1000 \end{cases}$
	Distancia a cementerios.	Lineal. A mayor distancia de cementerios, menor riesgo ambiental para la salud	Hasta un radio de 500 metros el área se considera de riesgo potencial	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 0 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (0,500) \\ 0, & Si x \geq 500 \end{cases}$

«Continuación»

Riesgo para la salud por consumo de agua no potable	Índice de hogares con acceso a agua potable	Lineal. La urbanización con mayor cantidad de hogares sin acceso a agua por red tendrá mayor riesgo ambiental para salud.	Índice de hogares con servicio de agua potable, desde 0 a 10. El riesgo disminuye proporcionalmente con la provisión del servicio de agua potable.	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 1 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (1,10) \\ 0, & Si x \geq 10 \end{cases}$
Riesgo para la salud por contaminación del suelo, de aguas subterránea	Índice de hogares con acceso a alcantarillado.	Lineal. La urbanización con mayor cantidad de hogares sin acceso a red de alcantarillado tendrá mayor riesgo ambiental para salud.	Índice de hogares con servicio de alcantarillado, desde 0 a 10. El riesgo disminuye proporcionalmente con la provisión del servicio de alcantarillado.	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 1 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (1,10) \\ 0, & Si x \geq 10 \end{cases}$
Riesgo sanitario e higiénico en relación con la descomposición de los alimentos	Índice de hogares con red eléctrica.	Lineal. La urbanización con mayor cantidad de hogares sin acceso a red eléctrica tendrá mayor riesgo ambiental para salud.	Índice de hogares con servicio de red eléctrica, desde 0 a 10. El riesgo disminuye proporcionalmente con la provisión del servicio de alcantarillado.	$\mathcal{F}(x) \begin{cases} 1, & Si x \leq 1 \\ \frac{b-x}{b-a}, & Si x \in (1,10) \\ 0, & Si x \geq 10 \end{cases}$

*Nota.* La función de pertenencia óptima para el modelo fue la lineal. Para las distancias límite propuestas se utilizó referencia bibliográfica respecto del tipo de fuente potencial de contaminación.

FUENTE: Adaptado de Di Pietri (2014).

#### Anexo 4: Esquema del modelo jerárquico de la investigación

