

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Escuela de Posgrado**

**DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PROPUESTA TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE MINERALES  
UTILIZANDO AGUA DE MAR PARA LA MEJORA DE LA  
RESPONSABILIDAD SOCIAL Y SOSTENIBILIDAD  
DE LAS COMUNIDADES ALTOANDINAS  
DE LA REGIÓN TACNA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**M.Sc. NATANIEL MARIO LINARES GUTIÉRREZ**

**Para optar el Grado Académico de:**

**DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**TACNA - PERÚ**

**2017**


**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA**

**Escuela de posgrado**


**DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PROPUESTA TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE  
MINERALES UTILIZANDO AGUA DE MAR PARA LA  
MEJORA DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL Y  
SOSTENIBILIDAD DE LAS COMUNIDADES  
ALTOANDINAS DE LA REGIÓN TACNA**

Tesis sustentada y aprobada el día 23 de diciembre del 2016; estando integrado el Jurado Calificador por:

**PRESIDENTE** :   
.....  
Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila

**SECRETARIO** :   
.....  
Dr. Gregorio Pedro Tejada Monroy

**MIEMBRO** :   
.....  
Dr. Walter Dines Florez Ponce de León

**ASESOR** :   
.....  
Dr. Julio Miguel Fernández Prado

## **DEDICATORIA**

A mis padres Vicente y Teodora Ana, por su incesante apoyo moral en el alcance de mis avances como persona y como profesional y por ellos soy lo que soy.

A mis hijos Edith, Jorge y Milagros, bellas joyas que Dios me ha dado para ser el motor de mi continuo andar académico. A mi esposa Luzmila, fiel compañera, artífice de mis éxitos, que siempre está a mi lado, amable y crítica en mis avances en la ciencia Metalúrgica-Ambiental y desarrollo personal.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi primer agradecimiento es a Dios, por permitirme elaborar esta tesis con entrega y proporcionarme las fuerzas necesarias para culminarla.

A mi alma mater, la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por haberme permitido que en sus aulas realice mis estudios de pre grado, maestría y doctorado; inculcándome el saber metalúrgico-ambiental y el amor a la verdad, a la justicia, a Tacna y a la patria.

A mis padres, Vicente y Teodora Ana, por haberme enrumado hacia los estudios superiores, muchas veces por encima de sus posibilidades y orientándome por el camino correcto, que es el mejor legado con el que cuento. Gracias a ellos he podido formarme, tanto como persona y como profesional. Mi especial agradecimiento a mi amada esposa Luzmila que desde que se unió a mi vida hace 27 años, constituye mi más valioso soporte, puesto que hubieron ocasiones, en las cuales no veía la luz al final del túnel, todo se complicaba, el trayecto parecía largo y a veces las fuerzas ya no daban más de sí, pero allí estuvo ella, que al igual que mis amados hijos Edith, Jorge y Milagros, fueron y son mis pilares que me dan ese plus de motivación que muchas veces hace falta en el camino del duro andar por este mundo, por éstas y otras tantas razones más, los amo muchísimo.

A todos los Doctores de la ESPG que me tuvieron como alumno en sus clases magistrales. Gracias por trasmitirme vuestros conocimientos y por la paciencia que mostraron al cumplir esta noble tarea. Agradecer profundamente a mi asesor de tesis Dr. Julio A. Fernández Prado y a mis compañeros de promoción, sobre todo aquellos que ya se graduaron, gracias, porque sin ellos esta tesis no habría sido posible, ni mucho menos culminada. Hoy es realidad.

Un agradecimiento especial a los Doctores conformantes del Jurado Calificador, por tener la paciencia y comprensión de dar su tiempo para revisar acuciosamente esta tesis. Del mismo modo, al señor director de la ESPG Dr. Roberto Encarnación Supo Hallasi y a la señora Secretaria Académica Administrativa Dra. Carmen Luisa Linares Torres, por lo ágil de los trámites.

## CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
RESUMO	xx
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN</b>	
1. Ámbito de la investigación	6
1.1. Caracterización de la zona de investigación	7
1.1.1. Ubicación geográfica del estudio	7
1.1.2. Situación poblacional y social de la región Tacna	8
1.1.3. Extensión territorial de la región Tacna	9
1.1.4. Aspecto demográfico	11
1.1.5. Índice de desarrollo humano-IDH	12

1.1.6. Minería en Tacna	13
1.1.7. Pasivos ambientales	18
1.1.8. Minería actual en la región Tacna	20
1.1.8.1. Breve descripción de la mina Toquepala	20
1.1.8.2. Mina Pucamarca-MINSUR	28
1.1.9. Cuencas hidrográficas de Tacna	38
1.1.10. Uso del agua en la Región Tacna	39
1.1.10.1. Demanda de agua del centro minero Toquepala-SPCC	40
1.1.10.2. Demanda de agua de la mina Pucamarca-MINSUR	45
1.1.11. Gestión del agua en Tacna	45

## **CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2. Descripción del problema	47
2.1. Formulación del problema	51
2.1.1. Problema principal	51
2.1.2. Problemas secundarios	54
2.2. Importancia del problema y justificación	54
2.3. Objetivo de la investigación	
2.3.1. Objetivo general	53
2.3.2. Objetivos específicos	54
2.4. Hipótesis	
2.4.1. Hipótesis principal	54

2.4.2. Hipótesis secundaria	54
2.4.3. Limitaciones de la investigación	55

### **CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN**

3. Marco teórico	
3.1. Antecedentes bibliográficos	54
3.2. Base teórica o conceptual	65
1. Participación ciudadana en la actividad de la empresa minera	65
2. Responsabilidad social y minería	71
3. Desarrollo sostenible	73
4. Cumbre MERCOSUR	75
5. Resolución 5 de julio de 2015 Bruselas-Bélgica	78
6. La paradoja del rechazo social a la explotación minera	80
7. Sustentabilidad económica	82
8. Norma internacional ISO 26000-responsabilidad social	84
9. Consumo de agua en minería	85
10. Fundamentos de flotación de minerales	87
11. Fundamento de la lixiviación de minerales	93
12. Derecho a la consulta previa a los pueblos indígenas	96
3.3. Marco legal	98

## **CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

4. Tipo del diseño de investigación	100
4.1. Diseño del mecanismo de la investigación cualitativa	102
4.2. Ejecución de la investigación cualitativa	105
4.2.1. Análisis de las entrevistas de la fase 1	118
4.2.2. Interpretación de la investigación fase 1	119
4.3. Ejecución de la investigación cuantitativa-fase 2	120
4.3.1. Propuesta de flotación de sulfuros en agua de mar	121
4.3.2. Lixiviación de sulfuros de cobre con sales y agua de mar	131

## **CAPÍTULO V PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

5. Presentación de resultados	141
5.1. Presentación de resultados de la investigación cualitativa	141
5.2. Presentación de resultados de la investigación cuantitativa	144
5.2.1. Resultados del proceso de flotación en agua de mar	144
5.2.1.1. Validación del modelo	159
5.2.1.2. Análisis de la flotación de sulfuros en agua de mar	165
5.2.2. Resultados de la lixiviación de sulfuros con agua de mar	165
5.2.2.1. Validación del modelo de lixiviación de sulfuros	179
5.2.2.2. Análisis de la lixiviación de sulfuros con agua de mar	185

## **CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

6. Discusión de resultados	187
6.1. Discusión global de la investigación	187
6.2. Contrastación de hipótesis	191
6.3. Contrastación de la hipótesis principal	191
6.4. Contrastación de la hipótesis secundaria	193
CONCLUSIONES	195
RECOMENDACIONES	196
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	197
ANEXOS	
Anexo I. Mapa de la provincia de Candarave	212
Anexo II. Datos técnicos de los reactivos de flotación WIING	213

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Extensión territorial según capital provincial	10
Tabla 2. Provincias y sus distritos de la región Tacna	10
Tabla 3. Distribución de habitantes por provincia, 2007	11
Tabla 4. Índice de desarrollo humano-IDH, 2012	12
Tabla 5. Producción de metales en la región Tacna	13
Tabla 6. Identificación de pasivos ambientales minero en la región	19
Tabla 7. Mapeo para la investigación	106
Tabla 8. Determinación del tiempo de molienda	127
Tabla 9. Variables, símbolos en el diseño factorial completo	128
Tabla 10. Análisis químico de la muestra	129
Tabla 11. Composición del agua a salinidad superficial de 35 ups	135
Tabla 12. Variables, símbolos y niveles en el DCCR	138
Tabla 13. Diseño factorial completo con variables reales	148
Tabla 14. Balance metalúrgico de la prueba NLG07	149
Tabla 15. Balance metalúrgico de la prueba NLG11	149
Tabla 16. Análisis de varianza para $R_{Cu}$ –Flotación	150
Tabla 17. Factores variables y variable respuesta del DCCR	153
Tabla 18. Matriz del DCCR a escala natural	154

Tabla 19. Balance metalúrgico de la prueba NLG001	155
Tabla 20. Balance metalúrgico de la prueba NLG002	155
Tabla 21. Análisis de varianza para $R_{Cu}$ –Flotación DCCR	159
Tabla 22. Determinación de las recuperaciones de Cu y Mo	163
Tabla 23. Recuperaciones parciales y acumuladas para Cu y Mo	163
Tabla 24. Determinación de las leyes acumuladas de Cu y Mo	164
Tabla 25. Valores de Ley y Recuperación para Cu y Mo	165
Tabla 26. Balance metalúrgico promedio de las pruebas de validación	167
Tabla 27. Diseño factorial con valores reales y $R_{Cu}$	171
Tabla 28. Análisis de varianza para recuperación de cobre	172
Tabla 29. Factores y variable respuesta del DCCR	175
Tabla 30. Matriz del diseño DCCR a escala natural	176
Tabla 31. Efectos estimados para $R_{Cu}$ (%)	176
Tabla 32. Análisis de varianza para $R_{Cu}$ – Lixiviación	177
Tabla 33. Balance metalúrgico de la Prueba NL001	181
Tabla 34. Balance metalúrgico promedio de lixiviación sulfuros	182
Tabla 35. Datos de análisis y cálculo del valor de $\alpha$	183
Tabla 36. Valores experimentales de $F(\alpha)$	184

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la investigación	6
Figura 2. Concesiones mineras en la provincia de Candarave	15
Figura 3. Concesiones mineras en la provincia de J. Basadre	16
Figura 4. Concesiones mineras en la provincia de Tacna	16
Figura 5. Concesiones mineras en la provincia de Tarata	17
Figura 6. Concesiones mineras de la región Tacna	17
Figura 7. Mapa de ubicación de la mina Toquepala	21
Figura 8. Mina Toquepala explotada a tajo abierto	22
Figura 9. Vista de la Concentradora Toquepala	24
Figura 10. Sección de lixiviación	25
Figura 11. Planta ESDE en la UP	26
Figura 12. Embalse de relaves de Quebrada Honda	27
Figura 13. Mapa de ubicación de la mina Pucamarca	28
Figura 14. Explotación de mina Pucamarca a tajo abierto	32
Figuro 15. Chancado de mineral	33
Figura 16. Pila de lixiviación de oro y plata con cianuro	36
Figura 17. Planta ADR de Mina Pucamarca	35
Figura 18. Planta ADR y electroobtención	37

Figura 19. Mapa hidrográfico de la Región Tacna	38
Figura 20. Distribución del consumo de agua en Tacna	39
Figura 21. Esquema pictográfico de una cuenca	40
Figura 22. Fuentes de abastecimiento de agua para mina Toquepala	42
Figura 23. Distribución de agua en la mina Toquepala	43
Figura 24. Sistema de reciclaje del agua en Concentradora Toquepala	44
Figura 25. Representación esquemática del desarrollo sostenible	75
Figura 26. Esquema de la ISO 26000: 2010	85
Figura 27. Esquema del procesamiento de sulfuros de cobre	87
Figura 28. Esquema de una celda de flotación	90
Figura 29. Esquema de la unión partícula-burbuja	91
Figura 30. Clases de colectores para flotación de minerales	91
Figura 31. Forma típica de curvas ley/recuperación	92
Figura 32. Diagrama de Poubaix para el sistema $\text{CuFeS}_2\text{-H}_2\text{O}$	94
Figura 33. Esquema de la lixiviación con núcleo sin reaccionar	96
Figura 34. Esquema de la investigación mixta secuencial	101
Figura 35. Esquema del sistema experimental	123
Figura 36. Recuperación Desbaste Cu-Mo-Fe en función del pH	124
Figura 37. Diagrama para determinar el tiempo de molienda	125
Figura 38. Set de reactivos de colectores y espumantes Wiing	126
Figura 39. Esquema experimental de chancado, molienda y flotación	129

Figura 40. Salinidad anual [ups] en la superficie	133
Figura 41. Salinidad anual [ups] en la superficie del mar de Tacna	134
Figura 42. Esquema experimental de lixiviación	140
Figura 43. Modelo general de un proceso metalúrgico	145
Figura 44. Diagrama de Pareto a un 95 % de confianza	149
Figura 45. Diagrama superficie respuesta	150
Figura 46. Esquema de flotación experimental de desbaste	154
Figura 47. Análisis gráfico de Pareto al 95 % de confianza	155
Figura 48. Análisis gráfico de efectos principales	155
Figura 49. Análisis gráfico de las interacciones	156
Figura 50. Superficie de respuesta de AZ-W3500, JR-W07	158
Figura 51. Representación gráfica de cinética de flotación	161
Figura 52. Curva Ley-Recuperación de Cu y Mo	163
Figura 53. Esquema de la prueba de flotación de validación	164
Figura 54. Diagrama de Pareto al 95 % de confianza	170
Figura 55. Diagrama de superficie de respuesta	171
Figura 56. Diagrama de Pareto al 95 % de confianza	174
Figura 57. Gráfica de efectos principales y sus interacciones	176
Figura 58. Superficie de respuesta del proceso de lixiviación	177
Figura 59. Contorno de la superficie de respuesta de lixiviación	178
Figura 60. Difusión en la capa límite	183

Figura 61. Difusión a través de una capa porosa	183
Figura 62. Reacción química	184
Figura 63. Difusión a través de una capa de ceniza	184

## ACRÓNIMOS

[ups]: Unidades prácticas de salinidad (35 ups = 35 g de sal por litro de agua).

UP: Unidad productiva.

DCCR: Diseño central compuesto rotacional.

ESDE: Extracción Deposición.

LESDE: Lixiviación Extracción Deposición.

ADR: Adsorción Desorción Reactivación.

INGMMET: Instituto geológico, minero y metalúrgico.

PNUD: Programa de las naciones unidas para el desarrollo.

PLS: Pregnant leaching solution.

HDPE: Polietileno de alta densidad

## RESUMEN

Esta tesis ha sido elaborada adaptándose a una metodología de investigación mixta, para explorar y proponer una posible solución al problema planteado, elaborándose para ello, un marco contextual que permitió encontrar, que la presencia de las mineras en la zona altoandina están contribuyendo con el desarrollo sostenible, mediante la implementación de programas de responsabilidad social empresarial, también, se ha evidenciado que existe un serio cuestionamiento a este programa, debido a que no favorece a todas las comunidades impactadas por la actividad minera, situación que puede ser mejorada instalando pequeñas empresas que funcionen mediante el sistema clúster, lo mismo sucede, con respecto al uso del agua, se ha encontrado que es factible el procesamiento de minerales usando agua de mar, mediante el proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup>, con el cual se ha obtenido resultados competitivos, en recuperación de Cu.

*Palabras clave:* responsabilidad social empresarial, desarrollo sostenible, investigación mixta, flotación de minerales en agua de mar, lixiviación de sulfuros con agua de mar, hiperaridez.

## **ABSTRACT**

This thesis has been elaborated adapting to a mixed research methodology, to explore and propose a possible solution to the problem, by developing a contextual framework that allowed to find that the presence of the miners in the high Andean zone are contributing to the development Sustainable, through the implementation of corporate social responsibility programs, it has also been shown that there is a serious questioning of this program, because it does not favor all communities impacted by mining activity, a situation that can be improved by installing small companies that The same is true with regard to water use, it has been found that it is feasible to process minerals using seawater, through the NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup> process, which has obtained competitive results in recovery of Cu.

*Keywords:* corporate social responsibility, sustainable development, mixed research, mineral flotation in seawater, sulfur leaching with seawater, hyperaridity.

## RESUMO

Esta tese tem sido elaborada adaptando a uma metodologia de investigação mista, para explorar e propor uma possível solução ao problema proposto, elaborando-se para isso, um marco contextual que permitiu encontrar, que a presença das mineiras na zona altoandina estão contribuindo com o desenvolvimento sustentável, mediante a implementação de programas de responsabilidade social empresarial, também, se tem evidenciado que existe um sério questionamento a este programa, como não favorece a todas as comunidades impactadas pela atividade mineira, situação que pode ser melhorada instalando pequenas empresas que funcionem mediante o sistema cluster, o mesmo sucede, com respeito ao uso do água, encontrou-se que é factível o processamento de minerais usando água de mar, mediante o processo NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup>, com o qual se obteve resultados competitivos, em recuperação de Cu.

*Palavras-chave:* responsabilidade social empresarial, desenvolvimento sustentável, investigação mista, flotação de minerales em água de mar, lixiviação de sulfetos com água de mar, hiperaridez.

## INTRODUCCIÓN

Las expectativas de las comunidades altoandinas respecto, a la responsabilidad social empresarial minera, están impulsando a las empresas mineras a ir más allá de mitigar sus impactos ambientales y contribuir activamente al desarrollo comunitario sostenible en las comunidades y pueblos aledaños, a fin de mantener su “permiso social para operar”<sup>1</sup>. El desarrollo comunitario es el proceso de aumentar la fortaleza y la eficacia de las comunidades, mejorar la calidad de vida de las personas y permitirles participar en la toma de decisiones a fin de lograr un mayor control de su vida a largo plazo. Los programas de desarrollo comunitario sostenible son aquellos que contribuyen a fortalecer la viabilidad de las comunidades a largo plazo. Con frecuencia, los beneficios más sostenibles que pueden legar los programas de desarrollo sostenible, en torno de una operación minero-metalúrgica, son las habilidades y capacidades que estos programas de capacitación, empleo y educación pueden proporcionar a las comunidades altoandinas.

---

<sup>1</sup> Véase Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), Guía de responsabilidad social ISO 26000, Ginebra, 2010, para análisis recientes sobre las obligaciones de las empresas en relación con la responsabilidad social.

El elemento esencial de un programa de desarrollo comunitario sostenible es que perdure sin los aportes de una empresa minero-metalúrgica (Cu, Au y Ag), en especial tras el cierre del proyecto minero. De este modo, la sostenibilidad de las comunidades altoandinas se puede apoyar mediante la explotación minera para ayudar a convertir este recurso mineral no renovable en otros activos locales como capital social, económico y ambiental sostenible.

La industria minero-metalúrgica puede desempeñar un papel importante en el desarrollo de las comunidades al actuar como una influencia positiva en zonas que, de otro modo, tendrían poca oportunidad de un adecuado desarrollo económico y social. Esto es especialmente cierto en situaciones en que la minería puede ser un catalizador para ayudar a construir otras fuentes de ingresos sostenibles (no mineras) en zonas donde las minas se ubican de tal modo que las comunidades pueden desarrollarse de manera independiente y, por ende, sobrevivir al agotamiento de las reservas minerales y al cierre de la operación minero-metalúrgica. Un medio importante para lograr esto consiste en fomentar los vínculos dinámicos entre las comunidades y los aliados externos, que son la empresa minera y el Estado. Un Estado que por ahora está casi ausente en el lugar donde se desarrolla la minería. El punto es que, en las comunidades altoandinas de Tacna se van quedando sin agua, porque no

se ha mejorado su sistema de riego, sus tierras se salan, baja su producción agraria, existen zonas con agua con contaminación natural, y ven que hay una compañía minera que usa su agua, porque así fue antes de que estas compañías se establecieran; no ven cambios en su economía, no ven mejoras sustanciales en su desarrollo familiar y comunal y por otro lado, la empresa minera busca resarcir los daños ocasionados, pero la desconfianza ya está en las mentes de la comunidad y el peligro de conflicto social se ha convertido en un fantasma que tendrá que soportar toda empresa instalada en esta región y les será más difícil a las que pretendan instalarse, porque el problema será siempre el agua debido al inadecuado uso, producto de una casi inexistente gestión de cuencas que garantice un uso justo del agua apta para el consumo humano y para la industria no minera y agropecuaria.

Por otro lado, en la zona altoandina de Tacna existe ingentes recursos minerales metálicos de valor y no metálicos, que no se pueden dejar de explotar. Ante esta opción, se debe buscar y desarrollar otras opciones de procesos hidrometalúrgicos para los minerales sulfuros que aquí son de gran importancia, especialmente desde el punto de vista socio-ambiental. Como las emisiones de dióxido de azufre de la industria pirometalúrgica son altamente indeseables, existe la necesidad de desarrollar procesos económicamente beneficiosos que conviertan el

azufre procedente de los minerales sulfuro en forma elemental. Los procesos hidrometalúrgicos también pueden funcionar de manera rentable en plantas de pequeña escala. La posibilidad de utilizar concentrados de baja ley o grado para lograr un bajo consumo de energía y la capacidad de regenerar soluciones de lixiviación, aumenta en importancia la investigación en este campo.

Los métodos hidrometalúrgicos pueden utilizarse para producir cobre a partir de minerales sulfurosos, como calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y covelita ( $\text{CuS}$ ). Generalmente, la lixiviación de los minerales de sulfuro se lleva a cabo en un entorno oxidativo. En la lixiviación oxidativa existe un agente oxidante presente y la transferencia de electrones está implicada en la reacción de disolución. En un proceso electroquímico se producen reacciones de oxidación y reducción o redox. La reacción anódica (oxidación) es muy probable la del azufre en el sulfuro mineral. Simultáneamente, la reacción catódica es la reducción de un agente oxidante, que está ávido por tomar electrones. Los agentes oxidantes más comúnmente usados son oxígeno, iones férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ), ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e iones cúprico ( $\text{Cu}^{2+}$ ). En la lixiviación oxidativa, los medios de lixiviación pueden ser ácidos o básicos. Las soluciones se basan generalmente en sulfato, cloruro, nitrato, amoníaco o cianuro. En esa perspectiva, en esta

oportunidad se evaluó el proceso de flotación de espumas de los sulfuros de cobre y molibdeno en agua de mar sin desalinizar, y el proceso de lixiviación de los sulfuros primarios de cobre principalmente utilizando sales oxidantes como el sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), el nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) y el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) en un ambiente ácido utilizando agua de mar sin desalinizar a nivel de laboratorio. Sus resultados se muestran en los siguientes capítulos del desarrollo de esta tesis.

## **CAPÍTULO I**

### **CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1. Ámbito de la investigación**

En este estudio de investigación se establece el ámbito de la investigación técnico-social que permita procesar minerales sulfuros de cobre usando agua de mar, cuyo resultado permite mejorar la responsabilidad social empresarial y sostenibilidad de los pueblos y comunidades altoandinas de la región Tacna, la cual, se estructura en los siguientes puntos:

Ubicación y delimitación de la investigación, situación poblacional y social de la región, potencial minero de la región Tacna, zona rural con presencia minera, uso del agua y cuencas con minería, tecnologías e instalaciones tipo que se emplean en la extracción de los minerales de cobre y oro, responsabilidad social y desarrollo sostenible de las mineras y las propuestas tecnológicas a proponer como una solución ante una eventual grave sequía en esta zona.

## 1.1. Caracterización de la zona de investigación

### 1.1.1. Ubicación geográfica del estudio

La presente tesis doctoral se realizó en la región Tacna, en los pueblos alto-andinos aledaños a las minas en explotación actualmente (Figura 1). La parte experimental se llevó a cabo en el Laboratorio Metalúrgico-Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales, Facultad de Ingeniería; UNJBG.

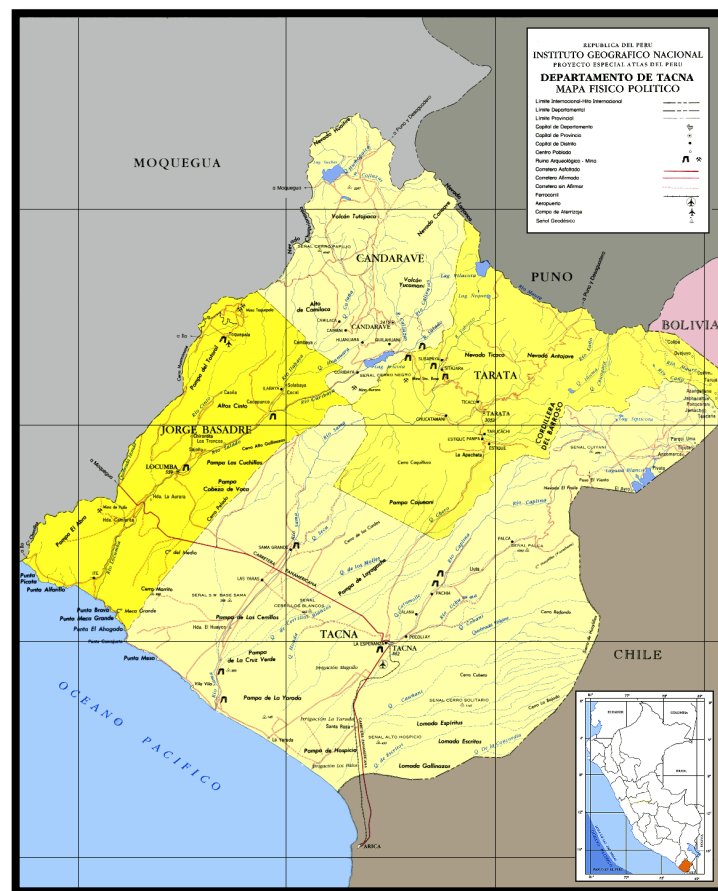


Figura 1. Mapa de ubicación del estudio de investigación.

Fuente: Instituto geográfico nacional. Mapa físico-político de Tacna.

### **1.1.2. Situación poblacional y social de la región Tacna**

La Constitución Política del Perú de 1993, establece explícitamente, en los numerales 2.1 y 2.11 de su artículo 2º que toda persona tiene derecho a la vida, a su identidad, a su integridad moral, psíquica y física, y a su libre desarrollo y bienestar, así como a elegir su lugar de residencia, a transitar por el territorio nacional y a salir de él y entrar en él, salvo limitaciones por razones de sanidad o por mandato judicial o por aplicación de la ley de extranjería. El país cuenta desde el año 1985, con una Ley de Política Nacional de Población (Ley N° 24077; DL N° 346) que garantiza los derechos de la persona humana, como el derecho a la vida desde la concepción; a formar una familia y al respeto de su intimidad; a la libre determinación del número de hijos; a la salud integral y al libre desarrollo de su personalidad; a habitar en un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado; a elegir su lugar de residencia y a transitar libremente por el territorio nacional; a la igualdad ante la Ley, sin discriminación alguna; y a los demás derechos reconocidos por la Constitución e inherentes a la dignidad humana. La Política Nacional de Población tiene por objeto planificar y ejecutar las acciones del Estado relativas al volumen, estructura, dinámica y distribución de la población en el territorio nacional, contribuyendo a mejorar las condiciones socioeconómicas y culturales de la población.

Establece como objetivos: (i) promover una relación adecuada entre la población nacional y el desarrollo del país; (ii) garantizar la decisión libre y consciente de las personas sobre el número de sus hijos; (iii) disminuir la morbimortalidad materno infantil y elevar la calidad de vida; y, finalmente, (iv) propugnar una mejor distribución de la población en el territorio, en armonía con el desarrollo regional y la seguridad nacional. Pero al parecer esta ley en los pueblos altoandinos aledaños a las minas en explotación, no les favorece mucho en la región Tacna, tan igual como sucede en el resto de País.

### **1.1.3. Extensión territorial de la región Tacna**

Tacna, creada por ley, el 25 de junio de 1857 y reincorporada al seno patrio después de un cautiverio de 49 años un 28 de agosto de 1929, está dividida políticamente en 4 provincias y 27 distritos.

La región Tacna cuenta con una superficie total de 16 075,73 km<sup>2</sup> que incluye 0,16 km<sup>2</sup> de superficie correspondiente al islote ubicado frente al distrito del mismo nombre en la provincia de Jorge Basadre, el 50,2 % corresponde a la provincia de Tacna, seguido por las provincias de Jorge Basadre (18,24 %), Tarata (17,56 %) y Candarave (14 %), tal como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1***Extensión territorial según capital provincial*

Región/Provincia	Superficie km <sup>2</sup>	2012		Altitud (msnm)
		Población total (Habitantes)	Densidad Poblacional (hab./km <sup>2</sup> )	
<b>Tacna</b>	<b>16 075,730</b>	<b>328 915</b>	<b>20,46</b>	
Tacna	8 066,110	302 852	37,55	562
Candarave	2 261,100	8 435	3,73	3 415
Jorge Basadre	2 928,560	9 641	3,29	559
Tarata	2 819,960	7 987	2,83	3 068

Fuente: INEI, 2008.

En la Tabla 2 se muestra la conformación política de cada provincia de la región Tacna.

**Tabla 2***Provincias y sus distritos de la región Tacna*

Provincias	Tacna	Jorge Basadre	Candarave	Tarata
Distritos	Tacna	Locumba	Candarave	Tarata
	Alto de la Alianza	Ilabaya	Cairani	Estique
	Ciudad Nueva	Ite	Camilaca	Estique Pampa
	Gregorio Albarracín		Curibaya	Chucatamani
	Lanchipa			
	Pocollay		Huanuara	Susapaya
	Calana		Quilahuani	Tarucachi
	Pachía			Ticaco
	Palca			Sitajara
	Sama las Yaras			
	Sama Inclán			

Fuente: INEI, 2012.

#### 1.1.4. Aspecto demográfico

Según el Censo Nacional del 2007, la población total de Perú es de 29 132 013 habitantes, de los cuales Tacna alberga a 288 781 habitantes, cifra que representa el 0,99 % del total nacional y la densidad poblacional es de 20,19 hab/km<sup>2</sup> los que se encuentran distribuidos de la siguiente manera (Quispe, 2008). La Tabla 3 muestra que, el 91 % de la población viven en la provincia de Tacna (262 731 habitantes), seguido de la provincia de Jorge Basadre con el 3,40 %; Candarave 2,90 % y Tarata 2,70 %. Asimismo, Tacna presenta una tasa de crecimiento poblacional de 2,0 % anual (según censo INEI 2007), por lo que se estima una proyección de la población de 329 000 habitantes, para el año 2012 y 383 000 habitantes para el año 2025, mostrado en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Distribución de habitantes por provincias, (2007)*

Provincia	Total	%	Área de residencia			
			Urbana	%	Rural	%
Tacna	262 731	91,00	245 930	93,60	16 801	8,70
Jorge Basadre	9 872	3,40	6 202	62,80	3 670	37,20
Candarave	8 373	2,90	5 436	64,90	2 937	35,10
Tarata	7 805	2,70	6 073	77,80	1 732	22,20
Total	288 781	100,00	263 641	91,30	25 140	8,70

Fuente: INEI- Censos Nacionales 2007, XI de población y VI de vivienda, 2008.

En la Tabla 3 se observa además que existe una clara tendencia a despoblarse paulatinamente la parte altoandina. Este hecho es un problema gravitante que involucra un adecuado análisis de carácter cualitativo en el desarrollo de la presente tesis.

### 1.1.5. Índice de Desarrollo Humano – IDH

Según el informe elaborado por el PNUD con datos de censo del año 2007, el IDH de la región Tacna alcanza a 0,56, ubicándose en el quinto lugar a nivel nacional, después de Lima, Moquegua, Arequipa y Madre de Dios. A nivel provincial, Jorge Basadre posee el índice más alto con un IDH 0,63 (índice medio alto); le sigue la provincia de Tacna con un IDH 0,57 y las provincias Candarave y Tarata con 0,35 y 0,33 respectivamente, lo que demuestra la disparidad de desarrollo humano en Tacna, tal como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Índice de desarrollo humano – IDH, Tacna, 2012*

Provincia	Índice de desarrollo humano (IDH)	Esperanza de vida al nacer (años)	Población con educación secundaria completa	Ingreso familiar per cápita (S/.)
Tacna	0,5722	76,87	83,47	777,8
Candarave	0,3528	70,87	62,90	324,9
Jorge Basadre	0,6315	73,86	66,37	1231,5
Tarata	0,3318	77,73	71,40	218,0
<b>Región Tacna</b>	<b>0,5553</b>	<b>76,11</b>	<b>81,87</b>	<b>765,9</b>

Fuente: PNUD – Informe sobre del desarrollo humano. Perú, 2013.

### 1.1.6. Minería en Tacna

En la Tabla 5 el BCR (2014) muestra que la actividad minera reportó una tasa de crecimiento de 42,3 %, asociada a la mayor producción de cobre (13,0 %), plata (18,1 %) y molibdeno (161,6 %). A diferencia de la extracción del oro que registró una contracción (-20,8 %).

**Tabla 5**

*Producción de metales en la región Tacna 1/*

Mineral	Estructura porcentual 2013 2/	Enero			Contribución 3/
		2014	2015	Var. %	
Cobre (t F)	74,6	10 653	12 033	13,0	9,0
Oro (kg F)	0,1	293	232	-20,8	-1,6
Plata (kg F)	1,8	3 593	4 243	18,1	0,3
Mo (t F)	23,4	309	808	161,6	34,6
<b>Sector minería 2/</b>	<b>100,0</b>			<b>42,3</b>	<b>42,3</b>

1/ Cifras preliminares.

2/ A precios de 2007.

3/ En base a la estructura de similar periodo de 2014.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

Elaboración: BCRP. Sucursal Arequipa. Departamento de Estudios Económicos.

En relación a reservas minerales en la región, se dispone de reservas en oro, plata, cobre, molibdeno y no metálicos. Para estimar las reservas de estos minerales se han recurrido a la zonificación económica y ecológica de la región, donde se identifica las concesiones mineras que actualmente se encuentran debidamente registradas, asimismo, se incluye los registros publicados por el Ministerio de Energía y Minas de las

extracciones de las mineras en actual funcionamiento como las reservas probadas y probables que los estudios de proyectos mineros establecen. Hasta la fecha se tiene un total de 909 concesiones metálicas entre denuncios y petitorios de importancia en la región Tacna.

Aun siendo Tacna una región con hiperaridez, tiene grandes potencialidades por sus características geomorfológicas en su territorio de costa y sierra. Una de ellas, la riqueza en minerales, principalmente cobre y oro, según los estudios de exploración realizados.

Sin embargo, estas potencialidades positivas pueden convertirse en negativas si no se realiza una explotación racional y con preservación del medio ambiente y del agua fundamentalmente.

La presencia de estos minerales desde tiempos milenarios dio como consecuencia la contaminación natural de aguas profundas, principalmente de arsénico en la cuenca del río Maure, cuenca del Caplina y los ríos que se originan en la provincia de Candarave, manteniendo el riesgo de producir hidroarsenicismo crónico en la población que la consume.

En la Figura 2 se observa que 45,8 % del territorio de la provincia de Candarave se encuentra con denuncios y petitorios mineros metálicos y no metálicos (INGEMMET, 2010), en diferentes estados de avance.

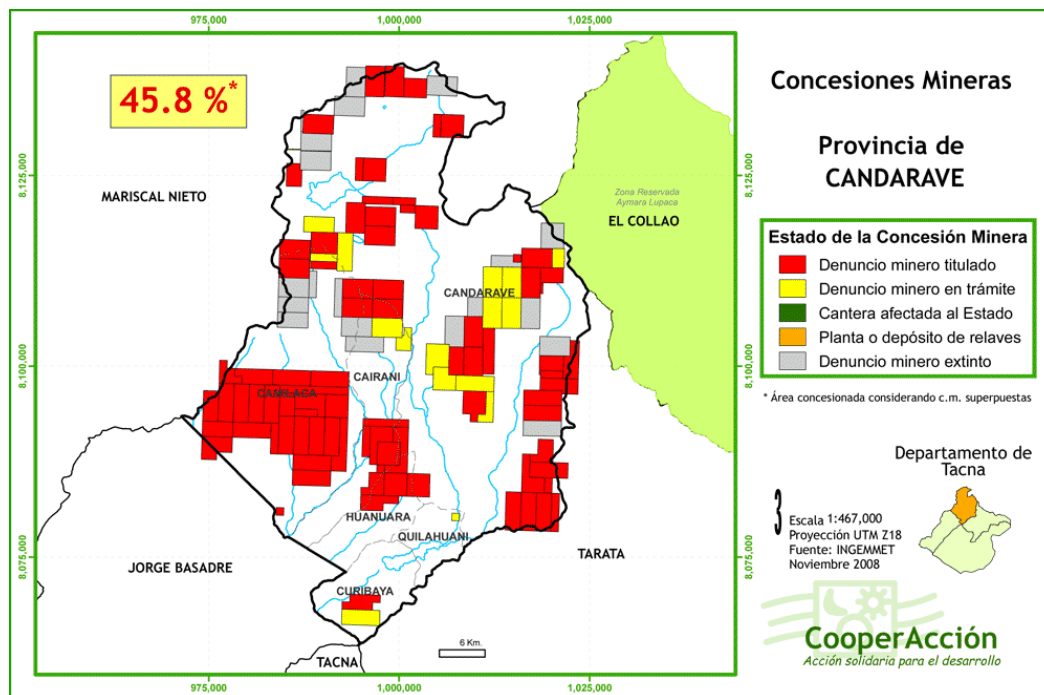


Figura 2. Concesiones mineras en la provincia de Candarave.  
Fuente: I.G.N. INGEMMET, 2010

En la Figura 3 se observa que 30,6 % del territorio de la provincia de Jorge Basadre G se encuentra con denuncios y petitorios mineros metálicos y no metálicos (INGEMMET, 2010), en diferentes estados.

De la misma manera en las Figuras 4 y 5 respectivamente se observa que el 19,3 % del territorio de la provincia de Tacna y el 44,2 % del territorio de la provincia de Tarata se encuentran con denuncios y petitorios mineros metálicos y no metálicos (INGEMMET, 2010), en diferentes fases de desarrollo.

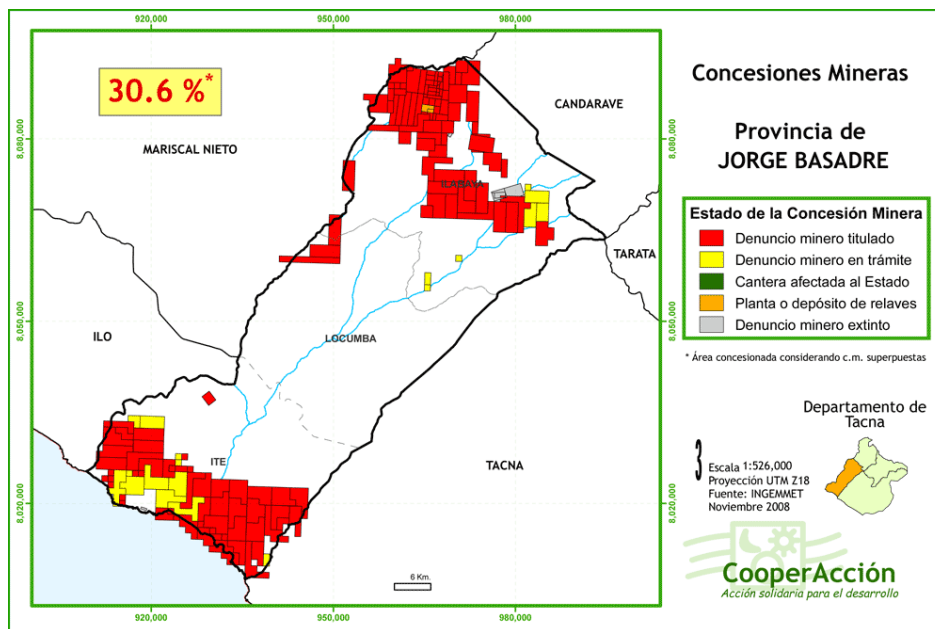


Figura 3. Concesiones mineras en la provincia de Jorge Basadre.  
Fuente: I.G.N. INGEMMET, 2010

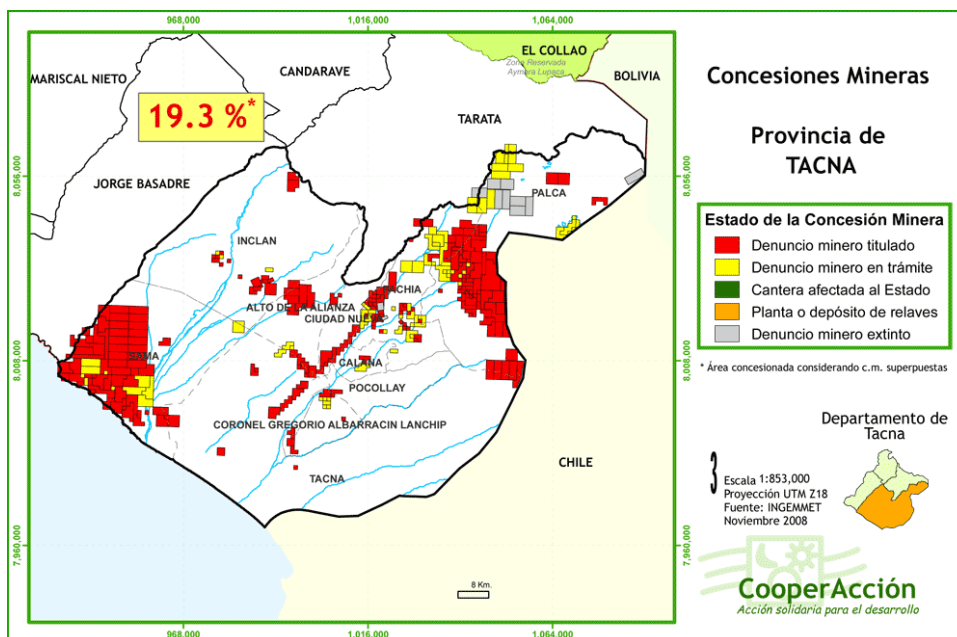


Figura 4. Estado de las concesiones mineras de la provincia de Tacna.  
Fuente: I.G.N. INGEMMET, 2010

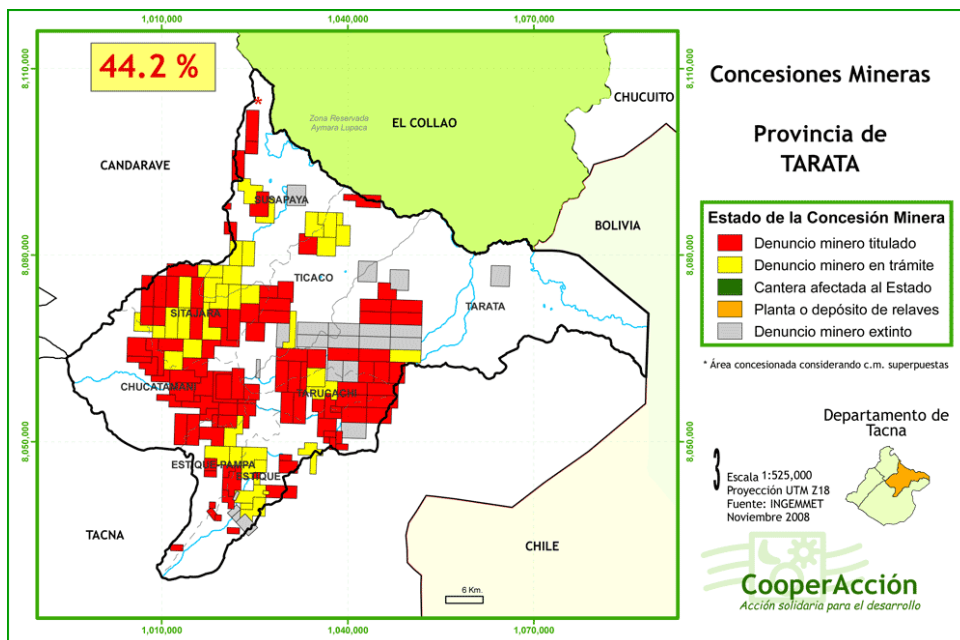


Figura 5. Estado de las concesiones mineras de la provincia de Tarata.  
Fuente: I.G.N. INGEMMET, 2010

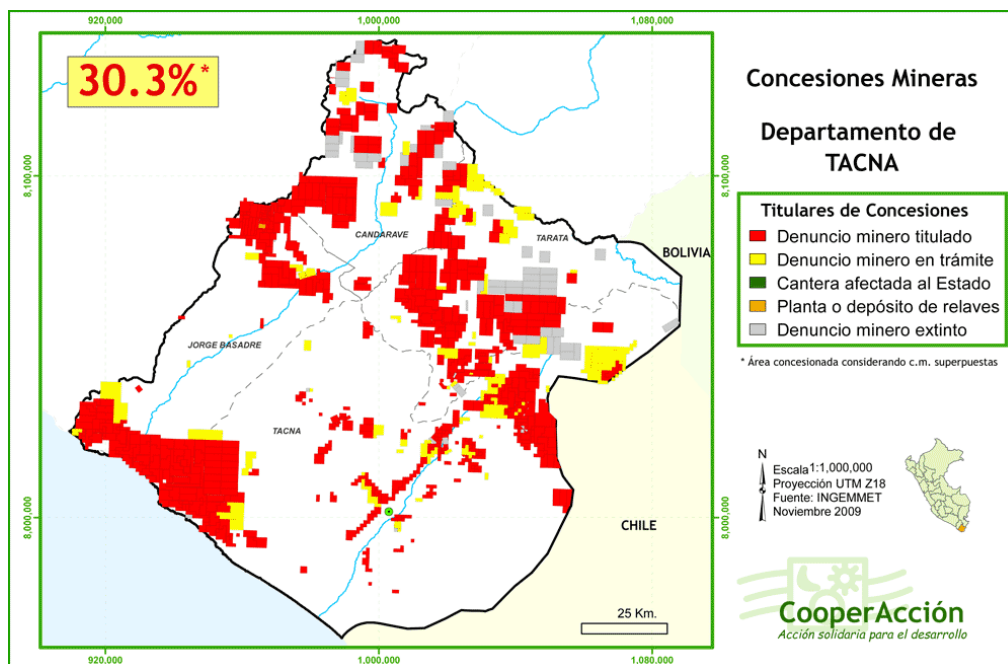


Figura 6. Estado de las concesiones mineras de la Región de Tacna.  
Fuente: I.G.N. INGEMMET, 2010

En consecuencia, según la Figura 6, la región Tacna cuenta con un 30,3 % de su territorio en calidad de denuncios y petitorios en diferentes estados de desarrollo. Por otro lado, se debe entender que los proyectos mineros son trabajos que se podría considerar eventuales hasta una confirmación que el yacimiento, que se supone existe debajo de la corteza terrestre, sea lo suficientemente rentable para pasar a la etapa de explotación. Además, para que puedan realizar actividad de prospección y exploración en estos posibles yacimientos mineros deben contar con una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Esta actividad conlleva a los estudios de caracterización geológica y mineralógica que permiten realizar los estudios de evaluación metalúrgica que pueda determinar la o no posibilidad económica, entonces, recién estos proyectos pueden considerarse o no yacimientos listos para una etapa de explotación. Sin embargo, esta situación de las concesiones se debe a que hay un sistema casi automático de entrega de concesiones mineras, por tanto, ha llevado a un crecimiento acelerado y desordenado en el territorio nacional como en la región Tacna (INGEMMET, 2010).

#### **1.1.7. Pasivos ambientales**

De acuerdo con la Ley 28271 y el D.S. 059-2005-EM, los pasivos ambientales mineros se consideran a aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, que

hayan sido abandonadas o permanezcan inactivas y constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, seguridad, el ecosistema y la propiedad; desde su generación y permanencia en el tiempo, no ha sido incluido en ningún estudio ambiental como es el caso del programa de adecuación y manejo ambiental, que en la actualidad es obligatorio considerar en el estudio de impacto ambiental, declaración de impacto ambiental y cierre de minas, entre otros.

Las actividades minero metalúrgicas, a través del tiempo, dieron origen a la formación de los pasivos mineros, cuyos componentes se indican a continuación: labores subterráneas de la mina, labores de tajo abierto, depósitos de desmontes (botaderos), depósitos de relaves, pilas de lixiviación, generación de aguas ácidas, descarga de sedimentos, residuos metalúrgicos, instalaciones de planta concentradora, Instalaciones de talleres de mantenimiento, subestaciones eléctricas, estaciones de combustible, instalaciones de campamentos y oficinas, rellenos sanitarios, alteración del paisaje y deforestación. En conclusión, los efectos de pasivos mineros huérfanos y abandonados significan un riesgo potencial permanente para la salud humana, el ecosistema y la propiedad; los riesgos potenciales dependerán de las características de los pasivos mineros, de su magnitud e intensidad, de las concentraciones de metales pesados, cuyos efectos al tener contacto con el cuerpo receptor

provocan un daño irreversible (Sotomayor, 2015). La región Tacna está afectada por pasivos ambientales minero-metalúrgicos en todo su territorio (Sotomayor, 2015), los cuales se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Identificación de pasivos ambientales mineros en la región Tacna*

2003	2006	2010	2011	2012	2013	2014	2015
32	32	61	69	69	186	186	186

**Fuente:** Remediación de Pasivos Ambientales Mineros, Tabla 1. Sotomayor, 2015. Ministerio de energía y minas.

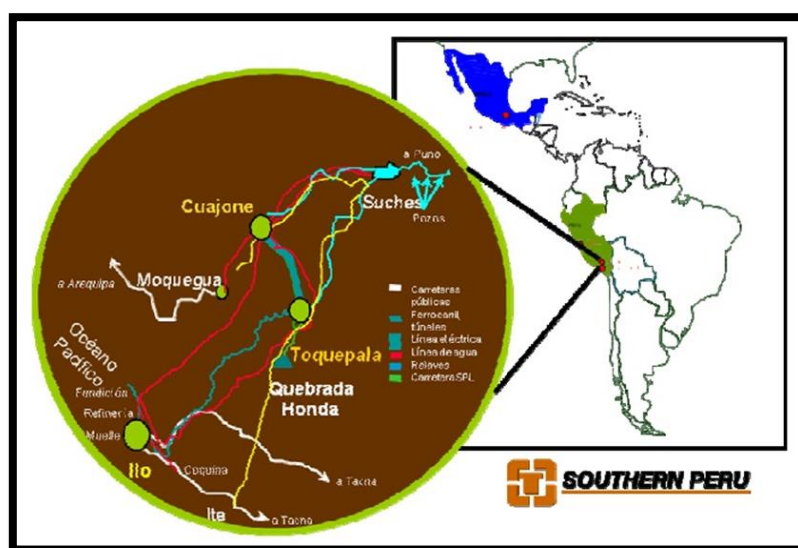
### **1.1.8. Minería actual en la región Tacna**

En la región Tacna actualmente se encuentran en operación la mina de Toquepala que produce cobre y molibdeno y la mina Pucamarca que produce oro y plata.

#### **1.1.8.1. Breve descripción de la mina Toquepala**

El yacimiento minero de Toquepala se encuentra ubicado en el sur del Perú, en el Departamento de Tacna entre las cotas 3 100 a 3 600 msnm. La zona en general es montañosa y semidesértica con parámetros anuales de 80 mm de precipitación y 1 500 mm de evaporación. En dirección Noroeste se encuentran los yacimientos de Quellaveco y Cuajone a una distancia de 20 y 30 km respectivamente, dicho yacimiento se encuentra

localizado en una región de topografía accidentada, debido a innumerables quebradas profundas que en su recorrido desde la sierra hacia los desiertos de la costa, cortan transversalmente el flanco occidental de los andes sur-occidentales. El área de la mina se encuentra entre los 3 100 y 3 600 msnm, presentándose hacia el Este, nevados con elevaciones que se aproximan a los 6 000 msnm. Geográficamente se encuentra a 17°13' latitud Sur y 70°36' longitud Oeste, a 92 km en línea recta de Tacna, 85 km de Ilo y 35 km de Moquegua. La mina Toquepala es un yacimiento porfirítico diseminado de Cu-Mo, donde la mineralización está subordinada a una chimenea de brecha y a un intrusivo de dacita, ambos geológicamente relacionados a la actividad intrusiva hidrotermal calco-silicosa datada de fines del Cretáceo Superior-Terciario Inferior (Figura 7).



*Figura 7.* Mapa de ubicación de la mina Toquepala.

Fuente: Olazabal, 2014

El tajo abierto de Toquepala es bastante circular en su perímetro y tiene un diámetro aproximado de 2,6 km. La mayor elevación de las paredes del tajo abierto es de aproximadamente 3 550 msnm en la pared Noroeste del tajo. El fondo actual del tajo es el banco de 2 765 msnm, en tanto que la profundidad del final del tajo planificado es un banco a una elevación de 2 350 msnm (Figura 8).



*Figura 8.* Mina Toquepala explotada a tajo abierto.  
Fuente: Google Earth.

El mineral extraído de la mina es procesado en la planta concentradora, el material lixiviable (mineral de baja ley) es procesado en el sistema de lixiviación (LIX) y planta de extracción por solventes (ES) y deposición electrolítica (DE) (Planta ESDE), en tanto que el desmonte es dispuesto finalmente en los depósitos de desmonte, ubicados en los alrededores del tajo. Las operaciones de la actual concentradora de la UP

Toquepala, se encuentran ubicadas aproximadamente a 3,15 km en línea recta al Suroeste del tajo de la mina. La Concentradora Toquepala tiene una capacidad actual de procesamiento de 60 000 t/d de mineral. En el 2010, la concentradora produjo 481 692 t de concentrado de Cu y 8 859 t de concentrado de Mo. Las instalaciones de la concentradora actual son convencionales y están conformadas por las siguientes etapas de producción:

- Chancado primario, secundario y terciario.
- Molienda primaria con molinos de barras y de bolas, y un molino unitario de bolas.
- Flotación primaria (rougher) de cobre y molibdeno.
- Remolienda y flotación de limpieza, re-limpieza y agotativa (scavenger), en un circuito en cascada para producir un concentrado final de cobre-molibdeno.
- Planta de tratamiento de molibdeno, en la flotación selectiva primaria (rougher) se separan los concentrados de cobre y molibdeno. Flotaciones de limpieza para concentrado de molibdeno.
- Espesamiento, filtración y despacho de concentrados de cobre y molibdeno.
- Recuperación del agua de proceso mediante un uso eficiente y trabajando en circuito cerrado (Figura 9).



*Figura 9.* Vista de la Concentradora Toquepala.

Fuente: Google Earth.

El Sistema de lixiviación comprende instalaciones en la UP de Toquepala mostrado en la Figura 10 tiene como componentes principales los siguientes procesos:

- Lixiviación de los depósitos de material lixiviable (sulfuros primarios y secundarios) Noroeste, Sureste y Sur, ubicados en la UP Toquepala.
- Sistema de represas de colección del PLS en las quebradas Huanaquera, Toquepala, Totoral y Cimarrona, todas estas represas se encuentran ubicadas dentro de la UP Toquepala.

- Sistema de conducción de PLS por bombeo hacia un reservorio de abastecimiento para la planta ESDE donde se mezclan el PLS proveniente de Cuajone y el PLS de Toquepala, este reservorio se ubica dentro de la UP Toquepala.



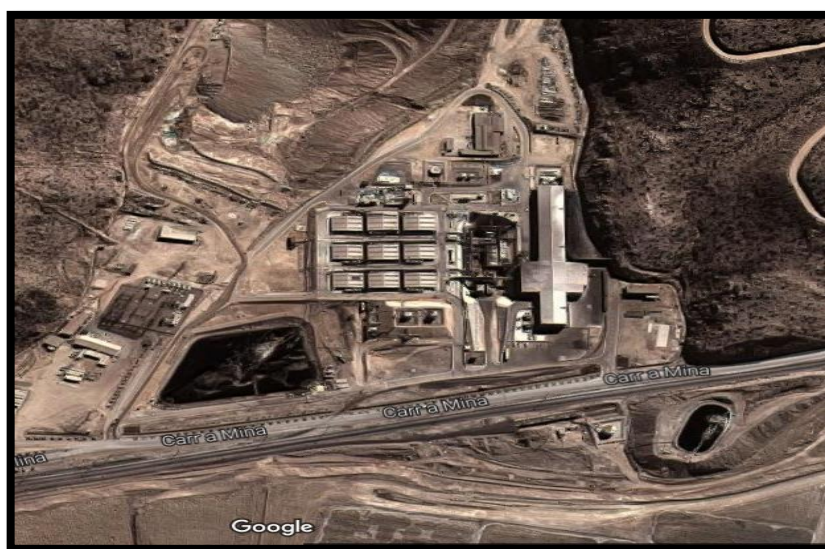
*Figura 10.* Sección de lixiviación.  
Fuente: Google Earth.

La Planta ESDE se ubica a 3,5 km en línea recta al Sur del tajo de la UP Toquepala. Está conformada por las siguientes etapas de producción:

- *Extracción por Solventes (ES):* En este proceso se transfiere selectivamente el cobre del PLS a una solución orgánica. El PLS entra en contacto con la solución orgánica que contiene la sustancia extractante activa en el mezclador. La mezcla pasa al sedimentador, donde se separan las fases acuosas (PLS descargado) y orgánica. El

PLS descargado (refino) regresa a los depósitos de mineral lixiviable para continuar la lixiviación y la solución orgánica pasa a la etapa de re-extracción. En la etapa de re-extracción o agotamiento (Stripping) se realiza el proceso inverso, el cobre de la solución orgánica se transfiere a una solución electrolítica desgastada (Spent).

- *Deposición Electrolítica (DE):* La deposición electrolítica se realiza en la casa de celdas compuesta de 122 celdas electrolíticas dispuestas en dos bloques de 61 celdas cada uno y conectados eléctricamente en serie. Al paso de la corriente eléctrica por los electrodos se produce la depositación de cobre metálico sobre el cátodo, obteniendo láminas de cobre catódico de alta pureza (99,999 % Cu). Durante el año 2010, en la Planta ESDE se produjeron 37 938 t de cátodos de cobre (Figura 11).



*Figura 11.* Planta ESDE en la UP Toquepala.  
Fuente: Google Earth.

Mediante R.D. N° 178-94-EM/DGM, se aprobó que SPCC disponga y almacene los relaves procedentes de las concentradoras de Toquepala y Cuajone en la zona de Quebrada Honda, otorgándole la licencia de construcción para el embalse de relaves en dicha zona, el agua decantada del embalse debe ser reutilizado en las actividades de remediación de la Reserva de Relaves de Ite.

Mediante Resolución Directoral N° 0044-2010-ANA-DGCRH de fecha 15 de septiembre de 2010, la Autoridad Nacional del Agua otorgó a SPCC autorización de vertimiento de aguas residuales industriales tratadas, procedentes del Embalse de Relaves de Quebrada Honda (Figura 12).



*Figura 12.* Embalse de residuos de Quebrada Honda.  
Fuente: Google Earth.

Las operaciones del ERQH se iniciaron el 19 de diciembre de 1996, por lo tanto, a partir de esa fecha los relaves de las concentradoras de Toquepala y Cuajone son recibidos, decantados y contenidos en dicho embalse. Los componentes principales del ERQH incluyen: Un dique de arranque, un dique principal, diques laterales, el embalse, un sistema de conducción y distribución de relaves y un sistema de decantación/dilución de agua.

#### 1.2.8.2. Mina Pucamarca - MINSUR

La unidad minera Pucamarca-MINSUR está ubicada cerca al hito 52 de la frontera peruano-chilena, el cual forma el límite oriental del proyecto. (Figura 13) El acceso es por la carretera Tacna-Alto Perú (102 km).

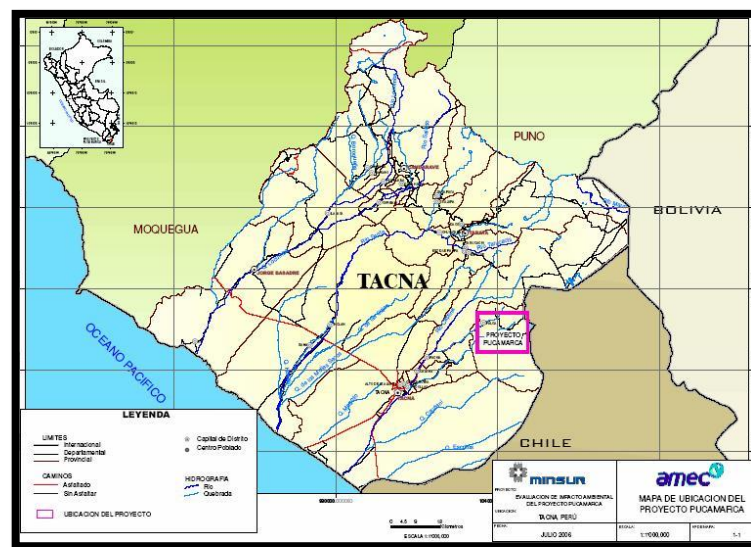


Figura 13. Mapa de ubicación de la mina Pucamarca.  
Fuente: INGEMMET, 2012. (MINSUR; AMEC, 2006)

La superficie del proyecto pertenece a la comunidad de Vilavilani y la del campamento se encuentra en el territorio de la comunidad de Palca. Ambas comunidades se ubican en el distrito de Palca, provincia de Tacna. La zona del tajo se encuentra en el Cerro Checcocollo.

Las operaciones de Pucamarca se iniciaron en enero de 2013, luego de cumplir rigurosamente con todos los procesos legales, administrativos y ambientales. La explotación es a tajo abierto en el cerro Checcocollo, con una vida útil de siete años separada en dos fases: la primera fase de tres años, en la cual se ha programado un avance progresivo de la construcción y operación, y la segunda fase de cuatro años, donde se completará la explotación del tajo abierto. Se removerán 14 060 t de desmonte, y se extraerá un total de 48 300 t de material. Los principales componentes de la unidad minera son: un tajo abierto, depósito de desmonte, pad para lixiviación, pozas de solución y pozas de grandes eventos, pilas de almacenamiento de mineral así como pila de almacenamiento de suelo orgánico. Entre las instalaciones de procesamiento se tienen una chancadora primaria y tolva de carga (para preparar el material a lixiviar); la planta de absorción–desorción para la recuperación del oro y la plata lixiviados; la refinería donde se producirá el material doré; la planta de manejo y almacenamiento de reactivos, laboratorio y taller de mantenimiento. Se cuenta con un polvorín ubicado cerca al área de

depósito de suelo orgánico. Pucamarca es una mina con procesos modernos, que no utiliza el agua de la población o la agricultura de Tacna, cuida el medio ambiente y fortalece las oportunidades de desarrollo en una zona fronteriza.

Principales características de la operación:

Tonelaje total: 48 287 000 t.

Recursos Minerales: 34 240 000 t.

Ley de Oro (Au): 0,72 g/t.

Contenido de oro: 787 000 onzas.

Desmante: 14 047 000 t.

Tratamiento mineral por año: 5 000 000 t (promedio).

Producción Desmante por año: 2 050 000 t (promedio).

Relación Desmante/Mineral: 0,41.

Vida de la mina: siete años.

Recuperación metalúrgica: 67 %.

Producción total de oro: 530 000 oz.

El tajo abierto abarca un área de 42 ha, con una profundidad de 278,7 m, desde el nivel de 4 575 msnm y el nivel mínimo de 4 296,3 msnm. La explotación del tajo utiliza explosivos a un ritmo de 0,14 kg de ANFO por tonelada de material, totalizando 6 742 t de ANFO durante la vida de la

mina, y se realiza una voladura diaria. Los camiones convencionales de 100 t de capacidad transportan el desmonte hacia el botadero respectivo, y el mineral, hacia el proceso de chancado. Las rampas y caminos de acceso tienen un ancho nominal de entre 24 y 27 m, y cuentan con cunetas laterales y de coronación para evacuar el agua de precipitación. En las perforaciones realizadas durante la etapa de exploración no se ha evidenciado presencia de agua subterránea, inclusive por debajo de la profundidad máxima del tajo. El agua que pueda estar presente en el tajo abierto será aquella que provenga de la precipitación pluvial, la misma que será colectada y enviada mediante bombeo al sistema de abastecimiento de agua industrial para ser utilizada en el circuito de cianuración.

Longitud de acceso a tajo – Botadero de desmonte: 3,50 km.

Longitud de acceso a tajo – Chancadora primaria: 3,20 km.

Ancho mínimo: 27 m (promedio).

Gradiente: 8 % a 10 %.

Altura mínima de berma: 1,27 m.

Altura berma planificada: 1,40 m.

Cuneta (ancho superior): 2,00 m.

La producción de mineral en el tajo se realiza a través de la perforación y voladura con explosivos, de taladros de 8,5 m de longitud y 250,825 mm (9 7/8”) de diámetro en promedio, distribuidos en los bancos

operacionales del tajo de acuerdo al tipo de roca y de material a producirse (mineral/desmonte, Figura 14).



*Figura 14.* Explotación de mina Pucamarca a tajo abierto.  
Fuente: Google Earth.

**Chancado**, cuyo objetivo de esta etapa es reducir el tamaño del mineral proveniente de mina desde un tamaño máximo de 381 mm (15”), hasta obtener un tamaño como producto  $P_{80}$  menor a 127 mm (5”), este mineral proveniente de mina es transportado por volquetes CAT-777 hacia la chancadora giratoria *ALLIS CHALMERS* 1 219,2 mm x 1 879,6 mm (48"x74") como alimento. El circuito de chancado consta de: tolva de descarga de volquetes de 200 t de capacidad, chancadora primaria, alimentador de orugas con velocidad variable (*Apron Feeder*), faja transportadora 01, faja transportadora 02, pila intermedia (stock pile) de 49 000 t, alimentadores vibratorios, faja transportadora 03, tolva de almacenamiento (*ore bin*) de 400 t. La faja transportadora 01 cuenta con un

detector de metales para atrapar algún metal que haya pasado por la chancadora giratoria, y una balanza para control de tonelaje producido por el chancado. En este circuito de chancado (Figura 15) se adiciona cal para obtener la alcalinidad protectora deseada, esta adición se hace en la faja transportadora 03, mediante dos silos de cal de 60 t cada uno.

**Para la lixiviación**, el mineral chancado es trasladado por medio de volquetes CAT-777 de 90 t hacia la pila de cianuración, este mineral es depositado en una área de 10 000 m<sup>2</sup> a una altura de 8 m para proceder a realizar la remoción en la parte superior de la celda debido a que esta ha sido compactada por el tránsito de los vehículos durante el acarreo del mineral. Para esta etapa se emplea un tractor de orugas CAT D8 (Figura 15).



*Figura 15.* Chancado del mineral.  
Fuente: Google Earth.

La solución lixiviante es conducida a través de una tubería de 355,6 mm de diámetro (14"Ø) de acero al carbono SCH 40 y una tubería HDPE que parte del tanque barren de 13 m Ø x 6 m H hacia la pila por intermedio de una bomba de 1 250 HP, esta línea se encuentra sobre un canal completamente impermeabilizado. La lixiviación se lleva a cabo con solución alcalina de cianuro de sodio (manteniendo el pH entre 10,5 a 11) para evitar pérdidas de cianuro por descomposición en gas cianhídrico (HCN). La concentración de cianuro total en la solución lixiviante es de 200 ppm con un consumo promedio de 0,12 kg/t de mineral. La tasa de riego se mantiene en 10 L/hm<sup>2</sup> para garantizar el contacto con el mineral lixiviado (Figura 16).



*Figura 16.* Pila de lixiviación de oro y plata con cianuro.  
Fuente: Google Earth.

Esta solución rica en oro y plata es colectada por las tuberías de drenaje que están colocadas sobre la geomenbrana y protegidos con

overliner en el Pad, esta solución es enviada hacia la poza de PLS (Pregnan Leach Solution) por medio de dos tuberías de HDPE de 304,8 mm de diámetro (12"Ø) y capacidad de 30 000 m<sup>3</sup>. Cuenta con una poza de grandes eventos para contingencias de 90 000 m<sup>3</sup> de capacidad. La solución rica de la poza de (PLS) es bombeada hacia la planta ADR a una batería de 5 columnas (4 m Ø x 3,8 m H) con carbón activado de granulometría de malla 6 x 12 (6 000 kg/columna) (Figura 17), donde los valores metálicos son adsorbidos, la solución pobre se descarga a un tanque barren donde se acondiciona NaCN para mantener la concentración a 200 ppm y luego es bombeado hacia la pila de lixiviación, completando el circuito cerrado.



*Figura 17.* Planta ADR de mina Pucamarca  
Fuente: Comunicación personal, 2013.

El lavado ácido o la reactivación química del carbón se realiza con la finalidad de eliminar la deposición de carbonatos que se precipitan en el área superficial del carbón disminuyendo la capacidad de adsorción de oro y plata, este proceso se lleva a cabo en un reactor de fibra de vidrio, donde después de terminar el proceso de adsorción se descarga 3 000 kg de carbón en el reactor de fibra de vidrio, terminado el lavado se realiza el restante. Luego se adiciona HCl llegando hasta un pH 3, el tiempo que demora el lavado ácido es de 4 horas. La solución final de la reactivación química se neutraliza con una solución de hidróxido de sodio. Para el proceso de desorción se cuenta con un circuito de desorción a presión tipo Zadra. Este tipo de circuito requiere de 15 a 18 horas, para completar un ciclo, cuenta con 2 reactores de 3 t de carbón que se puede operar en forma paralela o en serie. Después del lavado ácido, el carbón es transferido al reactor de desorción para ser despojado de las especies metálicas adsorbidas, para lo cual se prepara en el tanque de elusión una solución que contiene 1 % de NaOH y 0,1 % de NaCN, la cual, calentada indirectamente a través de un calentador eléctrico, se bombea el flujo en forma ascendente a través del lecho de carbón en el reactor de desorción donde se extrae los valores preciosos del carbón. La solución de desorción cargada de oro y plata sale por la parte superior del reactor pasando luego por un intercambiador de calor disminuyendo la temperatura a 75 °C y se

dirige a las dos celdas de electrodeposición que se encuentran en serie donde el oro y plata son electroquímicamente precipitados en forma de lodos en los cátodos, la solución pobre se envía al tanque de elusión y se recircula al calentador eléctrico para volver a pasar por el reactor de desorción y seguir desorbiendo el carbón, el proceso continua hasta que el contenido de oro y plata del carbón pobre sea menor a 160 g Au/t de carbono (Figura 18).



*Figura 18.* Planta ADR y electroobtención de oro de la Planta Pucamarca.  
Fuente: Google Earth.

La reactivación térmica del carbón elimina fundamentalmente los compuestos orgánicos adsorbidos por el carbón, se realiza en un horno eléctrico horizontal de capacidad de 3 t de carbón/24 h, a una temperatura de 700 °C, este circuito cuenta con una zaranda vibratoria con m20, tolva y alimentador que alimenta al horno, todo esto funciona automáticamente y está provisto de alarmas para la seguridad del equipo y del trabajador. Una

vez reactivado el carbón es zarandeado, el carbón de +m20 retorna al proceso de adsorción y el carbón de -m20 se retira del proceso (Tecnología Minera, 2015). Cabe mencionar, además, el desarrollo de una pequeña minería y minería artesanal no metálica que se dedica principalmente a la extracción de sílice, que es vendido a Southern Peru Copper para su utilización en el proceso de fundición de cobre.

### 1.1.9. Cuencas hidrográficas de Tacna

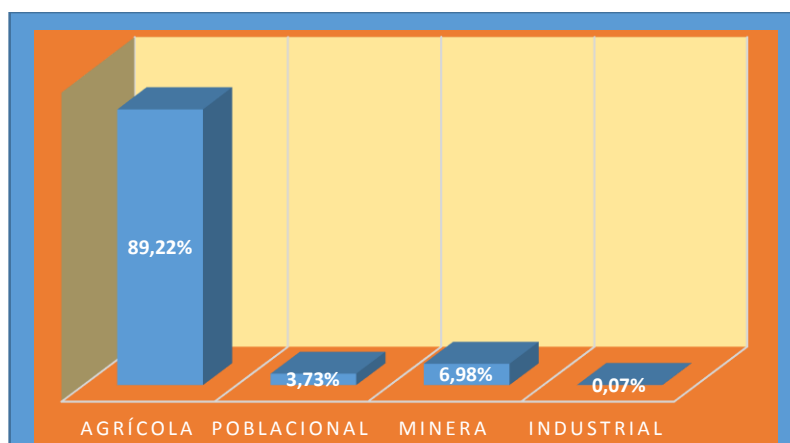
La región Tacna cuenta con cuatro cuencas hidrológicas que se muestran en la Figura 19 (INGEMMET, 2010). Cuenca Locumba, cuenca Sama, cuenca Caplina y cuenca Maure-Uchusuma.



Figura 19. Mapa hidrográfico, ríos y lagunas de Tacna.  
Fuente: I.G.N. INGENMET, 2010.

### 1.1.10. Uso del agua en la región Tacna

Tacna constituye la cabecera del desierto de Atacama, uno de los desiertos más áridos del planeta, por lo cual la escasez de agua se constituye en la mayor traba para su desarrollo. La vocación económica de sus 231 834 habitantes se orientan de manera preferencial al comercio, el transporte y la industria. La actividad agrícola es también relevante a nivel de la cuenca. La industria minero-metalúrgica es de importancia en la medida que consume bastante agua como se ve en la Figura 20.

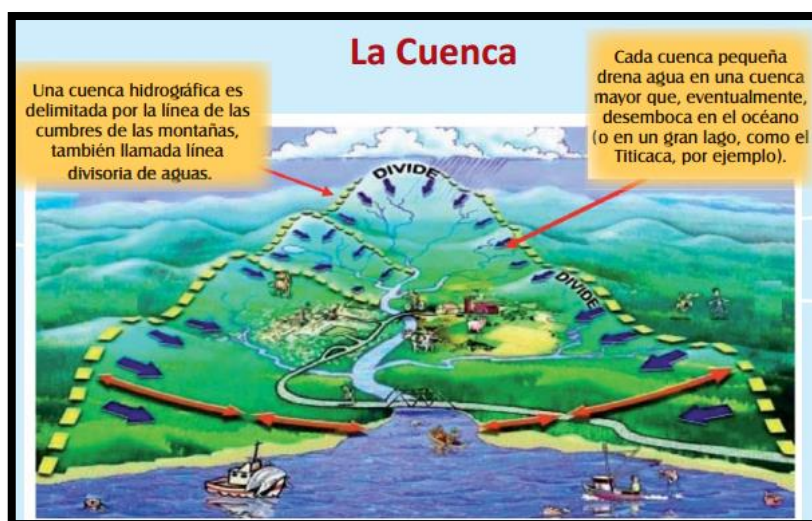


*Figura 20.* Distribución de consumo de agua por sectores productivos.

Fuente: Plan estratégico de Tacna, 2010.

Una **cuenca hidrográfica** es un **territorio** con un único sistema de drenaje natural, esto es, un territorio que drena sus aguas desde su nacimiento en las alturas, a través de pequeños ríos que drenan hacia un río principal para llegar finalmente hasta el mar, o para verter sus aguas a un único lago. La cuenca es el espacio donde el ser humano desarrolla sus

diferentes actividades. En Perú, por ser un país de montaña, la cuenca (Figura 21) es una **unidad de gestión** fundamental, pues alberga a usuarios y poblaciones diversas que interactúan a través del recurso hídrico; a lo largo de todo el territorio nacional. Los seres humanos intervienen de múltiples maneras en las cuencas, ahí construyen sus casas, ciudades, campos de cultivo, carreteras, caminos, obras para riego, para energía, para minería etc.



*Figura 21.* Esquema pictográfico de una cuenca.

Fuente: Comunidades campesinas y gestión del agua, Scheffer, 2013.

#### **1.1.10.1. Demanda de agua del centro minero Toquepala-SPCC.**

La demanda de agua para uso minero está centralizado por los requerimientos de agua de la empresa minera Southern Peru Copper Corporation, que tiene una licencia de uso de agua de hasta 1 640 L/s (Collas Ch, M.E, 2015), de la cuenca Locumba.

Este flujo de agua ingresa al centro minero de Toquepala, para el procesamiento de minerales de cobre y molibdeno en sus plantas LIX, ESDE y Planta Concentradora.

<b>LICENCIA DE USO</b>	<b>L/s</b>
R.M. 534-72-AG USO AGUA RIO TACALAYA	150,00
R.D. 00405-77-AG/DGA QUEBRADA ONDA	60,00
R.D. 053-88-AG-DGAS LAGUNA SUCHES	300,00
R.D. 0062-83-AG-DGASI HUAYTIRE JENTILAR	437,80
RADM. 002-94-DISRAG/ATDRLS HUAYTIRE JENTILAR	190,00
RADM. 034-2005-DRA,T/GR,TAG-ATDR/S HUAYTIRE JENTILAR	162,20
RADM. 169-95-DISRAG-ATARL/S CUENCA VIZCACHA	340,00

En la Figura 22 se muestra las fuentes de agua que utiliza en la mina Toquepala

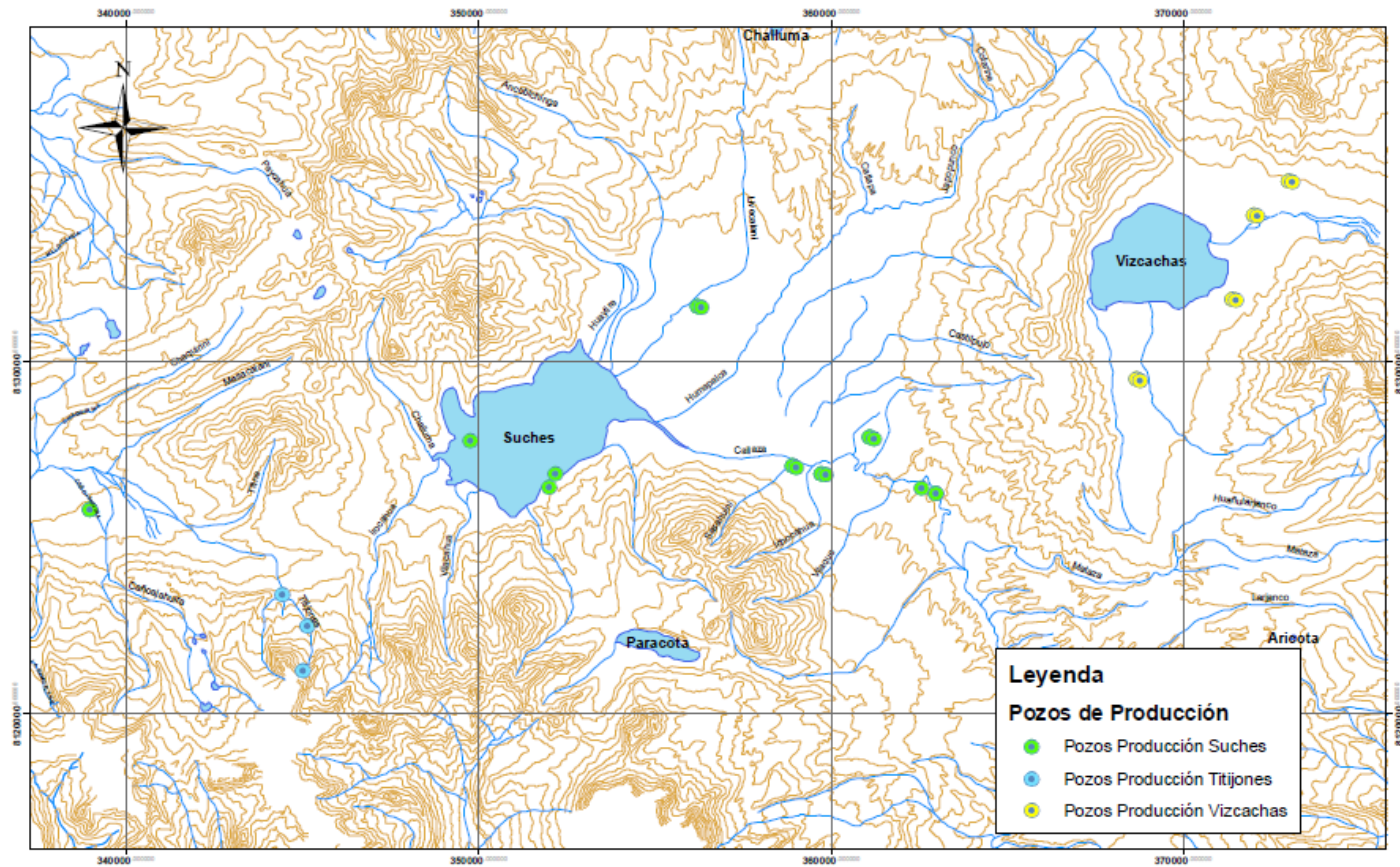


Figura 22. Fuentes de abastecimiento de agua para la mina Toquepala y Cuajone.

Fuente: Archivos de Southern Peru. 2010.

En consecuencia, el agua que consume Southern Peru en su UP Toquepala es la que se muestra en la Figura 23.

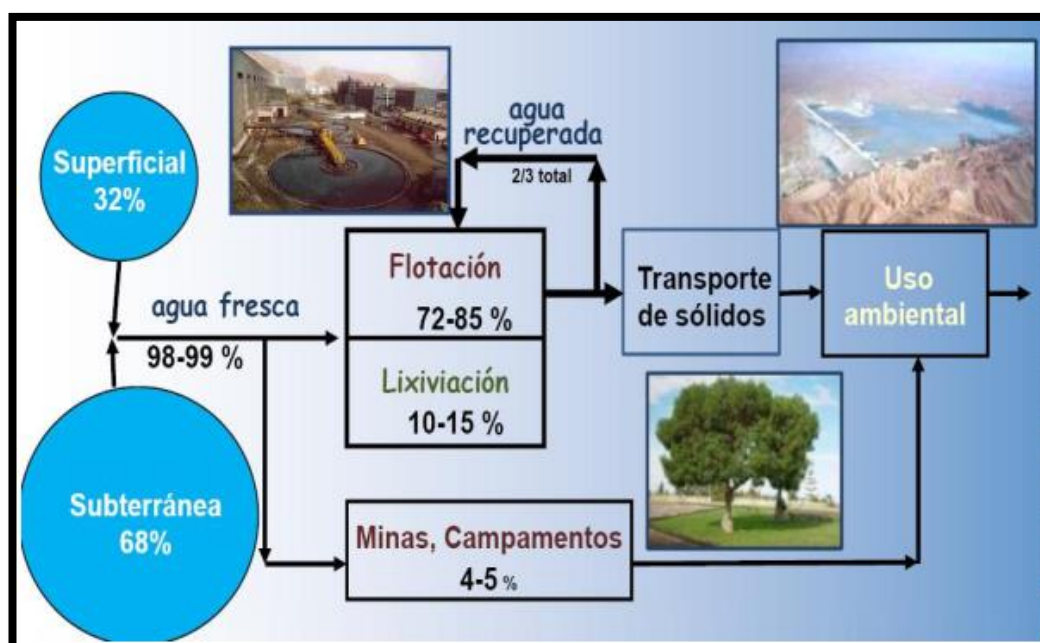


Figura 23. Distribución del agua en la mina Toquepala de Southern Peru. Fuente: Archivos de Southern Peru, (s.f).

Aquí Southern Peru muestra que el 32 % corresponde a agua superficial y el 68 % corresponde a agua subterránea, la cual es utilizada en todas las operaciones que se realiza en la UP Toquepala. Para su ampliación tiene proyectado reciclar agua de la cancha de relaves de Quebrada Honda, cuyo sistema se muestra en la Figura 24 en el cual se puede apreciar que sólo 218 L/s se reciclará de la relavera de Quebrada Honda.

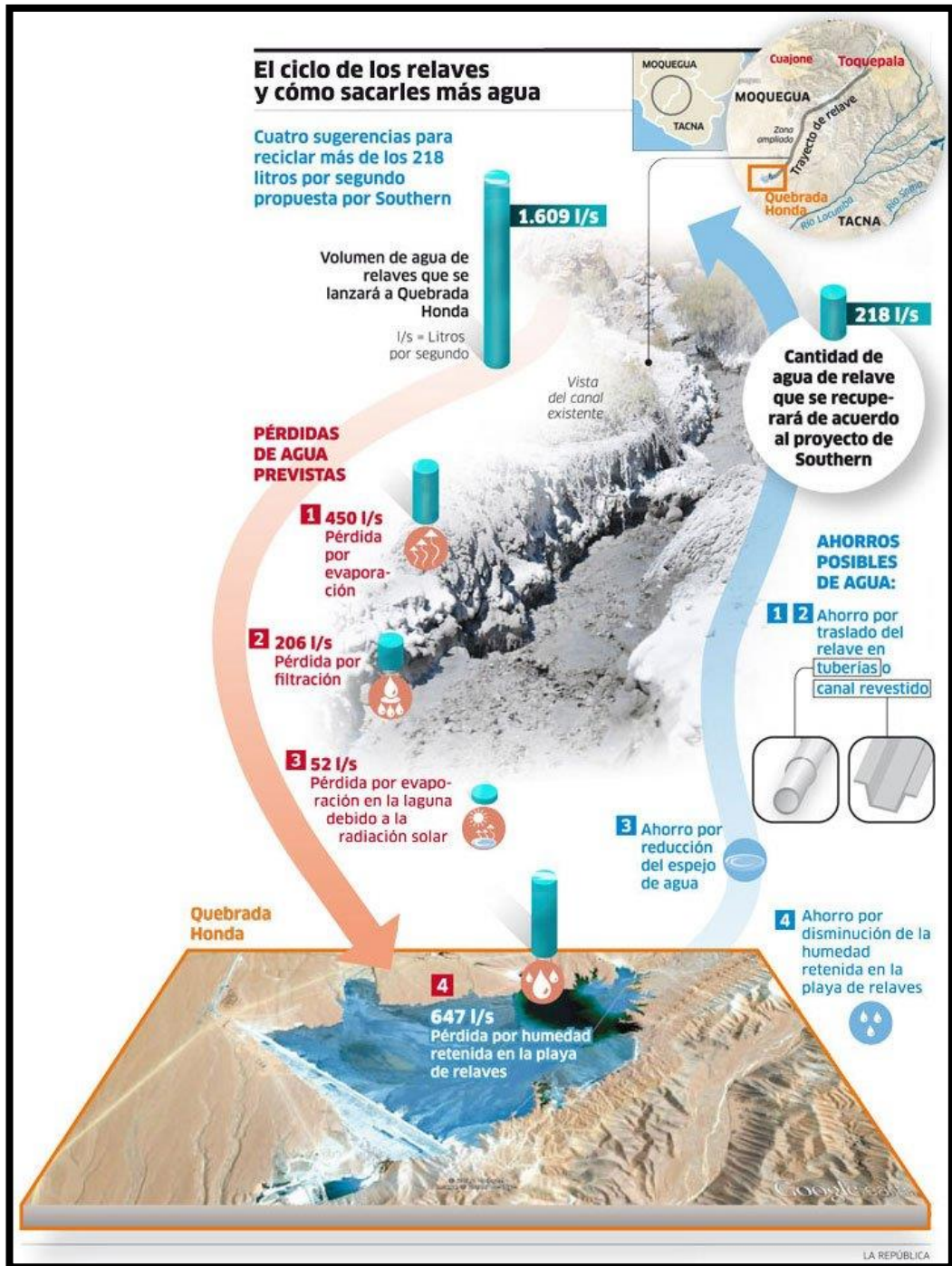


Figura 24. Sistema de reciclaje del agua en la Planta Concentradora Toquepala.

Fuente: Diario la República, 15-03-2012.

#### **1.1.10.2. Demanda de agua del centro minero Pucamarca-MINSUR**

Desde el 2012 la empresa minera MINSUR realiza operaciones de exploración y explotación de oro y plata en el yacimiento Pucamarca (2013), muy cerca de la frontera con Chile. Esta empresa usa agua subterránea no apta para el consumo humano, extraída de pozos perforados cerca al río Azufre, quebrada Vizcachane perteneciente a la Cuenca Maure-Uchusuma. Mediante resolución Administrativa N° 003-2006-GRT/DRAT/ATDRT de fecha 09-01-2006 de la Dirección Agraria de Tacna otorga a MINSUR S.A la licencia de uso de agua subterránea hasta un caudal de 30 L/s para fines no agrarios (fines mineros).

#### **1.1.11. Gestión del agua en Tacna/comunidades altoandinas**

El agua es un recurso vital y fundamental para la vida y el desarrollo de la humanidad. En el Perú es el tema central sobre el cual giran los conflictos socio-ambientales. El derecho a acceder a fuentes de agua de calidad y en cantidad suficiente se está convirtiendo cada vez más en una utopía. Urge por ello la necesidad de definir una verdadera política de gestión hídrica, promovida desde el estado, gobiernos regionales y alcaldes provinciales, distritales y usuarios de los distintos sectores, de construir una gobernabilidad adecuada que garantice el cumplimiento del derecho humano al agua, que promueva una cultura del agua que revalore y

recupere las costumbres de nuestros antepasados para cuidarla y preservarla, previendo además las necesidades actuales y futuras, tanto de los seres humanos como de los ecosistemas que le sirven de soporte (Scheffer, 2013).

(Scheffer, 2013) la Ley es clara: las comunidades campesinas tienen derechos de agua que deben ser reconocidos y respetados por el Estado. Las comunidades tienen derecho a utilizar las aguas existentes o que discurren por sus tierras, así como sobre las cuencas de donde nacen esas aguas; tanto para fines económicos, de transporte, de supervivencia y culturales, en el marco de lo establecido en la Constitución Política del Perú, la normativa sobre comunidades y la Ley y los tratados internacionales, como el Convenio 169 de la OIT. Este derecho de agua de las comunidades campesinas es imprescriptible, prevalente y se ejerce de acuerdo con los usos y costumbres ancestrales de cada comunidad.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2. Descripción del problema

El capítulo I configura el fundamento en el cual se basa el estudio del problema de investigación denominado **“Carencia de tecnología metalúrgica-ambiental que usando agua de mar pueda mejorar la responsabilidad social y la sostenibilidad de los pueblos altoandinos de Tacna”** con el propósito de determinar cómo la presencia de la minería coadyuva en la mejora del desarrollo sostenible y la calidad de vida de los comuneros aledaños a los asientos mineros en esta zona sur del país.

De otro lado, las ciencias ambientales tratan de un campo de estudio interdisciplinario, en el que interesa analizar cómo operan y se relacionan entre sí las distintas partes de la naturaleza (ecosistema) y de las comunidades humanas y cómo se realizan sus conexiones e interacciones, busca en las relaciones causa-efecto los principios ambientales fundamentales, entendiendo cómo trabaja el ambiente natural, cómo se regeneran los recursos naturales, y cómo esta capacidad regeneradora se ve afectada por las actividades humanas, cuyo propósito, es presentar,

analizar, diagnosticar la problemática ambiental, y aportar instrumentos, propuestas y alternativas de solución, para la gestión adecuada y el ordenamiento de los recursos naturales en beneficio de la población, que es fundamental para la identificación de los problemas ambientales globales, como el cambio climático o calentamiento global, pero ha sido menos utilizado en la implementación de soluciones en estos retos como el estudio de la responsabilidad social, sostenibilidad, la minería con tecnología limpia y su impacto a las comunidades altoandinas (indígenas) del país como de la región Tacna en forma integral.

La idea de desarrollar esta tesis, nace del hecho de que cada día crece más el rechazo a la explotación minera a lo largo y ancho de nuestro país, debido a que las empresas mineras están vulnerando lo más íntimo y valioso de los pueblos y comunidades altoandinas, su soberanía cultural e intelectual, la tierra y el agua, los cuales no se reconoce a cabalidad ni por el Estado ni mucho menos por la Empresa Minera, coactándoles la oportunidad de ser ellos protagonistas de su propio desarrollo. Del mismo modo, desde 1990, las leyes peruanas e internacionales indican que las comunidades y los pueblos altoandinos a lo largo de la vida de los proyectos mineros es fundamental, no solo para conseguir una licencia social donde claramente se manifieste la reducción de los impactos social, económico y ambiental que puedan generar, el fortalecimiento de la sostenibilidad de los

mismos y la reducción de los conflictos socio-económico-ambientales que estos generan, lo cual afecta a la gobernabilidad del país; sino por una cuestión de respeto a sus derechos reconocidos.

Al caracterizar el ámbito de estudio de esta tesis permite ver otro problema que viene suscitándose más a menudo, es el uso del agua en procesos minero-metalúrgicos, que cada vez es más escasa por las continuas sequías, donde los únicos afectados son los campesinos o comunidades altoandinas que los está obligando a abandonar sus tierras. Tal es así que en la cuenca hidrográfica Locumba se encuentra ubicada la empresa minera Southern Peru por más de 50 años explotando el yacimiento Toquepala. En el 2011 Southern Peru propone ampliar su Planta Concentradora de 60 000 t/d a 120 000 t/d, lo que significa instalar una nueva planta con tecnología moderna y es aquí donde hasta hoy está vigente la controversia en que sus operaciones afectarían más las actividades agrícolas e industriales de Tacna, porque significaría un recorte de agua superficial para este sector en esta Región que está cada vez más escasa y por ello la población se opone con relativa contundencia al uso y extracción de las fuentes de agua superficial y subterránea.

En esta mirada al problema, se nota tres conflictos socio-ambientales más saltantes relativos a la minería en Tacna. Estos son:

- ✓ En los distritos de Locumba e Ilabaya, las juntas de usuarios rechazan las actividades de ampliación de la Concentradora Toquepala y la ampliación del depósito de relaves de Quebrada Honda, debido a que consideran no ser cierto que la Cía. no empleará más agua que la que hoy viene utilizando, resultando de todos modos un recorte de agua para la agricultura, por el desigual reparto del agua que aquí se practica.
- ✓ En la ciudad de Tacna, el Frente Amplio de Defensa del medio ambiente y otras organizaciones civiles se opusieron a las actividades de explotación por parte de MINSUR S.A. por una posible contaminación con  $\text{CN}^-$  de los recursos hídricos, que al final no prosperó y hoy el entonces proyecto Pucamarca es realidad, pero siempre con una inminente posibilidad de conflicto en contra de su ya anunciada ampliación.
- ✓ En los distritos de Tarata y Ticaco, las autoridades municipales y la población rechazaron de plano la sesión del petitorio minero Revelación 7 realizado por la compañía minera San Jorge S.A. La concesión se ubica en el perímetro de expansión urbana y afectaría la actividad agrícola y zona arqueológica de la zona. Igual suerte corrió el intento de exploración de la Empresa minera Newmont Peru.

Por otro lado, la población de la provincia de Candarave reclama el agua superficial y subterránea que la Southern Peru usa bajo licencia, para

el procesamiento de minerales sulfurados de cobre en sus dos Plantas Concentradoras ubicadas en Ilabaya (Toquepala), Torata (Cuajone) y las plantas de lixiviación conexas a ellas.

En consecuencia, el uso del agua constituye el problema serio, debido a que cuando hay sequía, la empresa minera no se afecta, pero sí la agricultura y actividades complementarias. La actividad minera de las empresas transnacionales es relevante por su impacto ambiental y social en las comunidades campesinas altoandinas donde operan y se han generado conflictos sociales y ambientales, de allí la importancia de abordar el vínculo de la comunidad con la empresa minera (Jenkins, 2004).

En lo que respecta al reparto del Canon, sobre-canon y regalías mineras, los pueblos y comunidades más afectadas por la explotación minera, son las que reciben una ínfima cantidad en presupuesto, imposible que pueda redundar en su desarrollo (MEF, 2012).

## **2.1. Formulación del problema**

### **2.1.1. Problema principal**

¿Cómo la propuesta técnica de procesamiento de minerales utilizando agua de mar mejora la responsabilidad social y sostenibilidad de las comunidades altoandinas de la región Tacna?

### **2.1.2. Problemas secundarios**

1. ¿Cómo cumplen con la responsabilidad social empresarial las compañías mineras con las comunidades altoandinas de Tacna?
2. ¿Cómo proporciona desarrollo sostenible de las comunidades altoandinas la presencia de la minería en Tacna?
3. ¿Cómo se puede flotar sulfuros y óxidos con agua de mar?
4. ¿Cómo se puede lixiviar sulfuros con agua de mar?

### **2.2. Importancia del problema y justificación de la investigación**

En los medios de comunicación hablados, escritos y televisivos y en el diario vivir se observa cada día proyectos que no llegan a la fase de operación por el único hecho de no haber realizado un adecuado estudio de impacto social que proponga el desarrollo sostenible de las comunidades locales, que deviene de no haber considerado transparentemente los estudios de impacto ambiental o por falta de respeto e inadecuada manera de interactuar con las comunidades y pueblos aledaños, han recibido en muchos casos un rotundo rechazo por parte de esta población que en algunos casos son asesorados por sectores sociales y políticos antiminereros, devienen en conflictos socioambientales, que al final han impedido que estos proyectos avancen trayendo consigo pérdidas económicas para las empresas mineras, para la región y para el país, ya

que se deja de gozar del desarrollo que la actividad minera supone y propone.

En ello radica la importancia de esta Tesis, puesto que analiza los aspectos que conducen a hacer un estudio social-tecnológico a fin de interrelacionar la Responsabilidad Social Empresarial, la Producción Limpia y el Desarrollo Sostenible que involucre y alcance a todos los pueblos que son impactados por el desarrollo de un proyecto minero en la zona altoandina de la región Tacna, en forma equitativa.

En consecuencia, el hecho de proponer posibles soluciones a este problema, se justifica, puesto que las ciencias ambientales tienen como objetivo no solamente de la gestión y el manejo del medio ambiente, sino plantear soluciones sobre el cuidado ambiental y formas tecnológicas compatibles con la vida, para la explotación de los recursos naturales no renovables, como el que se pretende tratar en este caso.

### **2.3. Objetivos de la investigación**

#### **2.3.1. Objetivo general**

Proponer una técnica de procesamiento de minerales utilizando agua de mar para mejorar la responsabilidad social y sostenibilidad de las comunidades altoandinas de la región Tacna.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

1. Fortalecer la sostenibilidad de las comunidades altoandinas con la presencia de las compañías mineras establecidas y por establecerse en la región Tacna.
2. Analizar la responsabilidad social empresarial minera y presencia del Estado en la región Tacna.
3. Desarrollar una propuesta de flotación de sulfuros en agua de mar.
4. Desarrollar una propuesta de lixiviación de minerales en agua de mar.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis principal**

La propuesta técnica de procesamiento de minerales utilizando agua de mar mejora la responsabilidad social y sostenibilidad de las comunidades altoandinas aledañas a un asiento minero en la Región Tacna.

### **2.4.2. Hipótesis secundaria**

La implementación de la RSE disminuye los conflictos socio-ambientales y la aceptación de la explotación minera responsable.

## **2.5. Limitaciones de la investigación**

La presente tesis está delimitada dentro de un área geográfica, por cuanto, se realiza solo en la Región Tacna, por tener características distintas a las otras regiones, por estar situada en la cabecera del desierto de Atacama y por tanto, tiene una gran limitante para su desarrollo minero e industrial que es el agua y su calidad.

Otra limitante, es el costo de la investigación, por cuanto toda la investigación es asumida por el autor en cuanto a lo económico y a la parte experimental. En cuanto a recursos de laboratorio solo en parte de algunos ensayos químicos no se pudieron realizar, por ello se presenta resultados de los elementos metálicos principales de la muestra en estudio.

Por otro lado, el estudio no está dirigido a presentar resultados a una empresa minera, por consiguiente no se presenta estudio de costos, quedando habilitado para realizar otras investigaciones que cuantifiquen este aspecto en puesta a valor de un proceso o procesos netamente metalúrgicos.

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3. Marco teórico

##### 3.1. Antecedentes bibliográficos

- A. López Canelas, Elizabeth (2006) en su tesis titulada “**Medio ambiente y minería, una paradoja del desarrollo sostenible: estudio de caso sobre el acceso y gestión de recursos naturales en la comunidad de Santa Rosa, provincia Poopó – Oruro**” trata desde diferentes corrientes y programas económicos, y discute ampliamente la problemática del desarrollo rural, aun así sigue siendo una discusión de largo aliento. Si bien se puede analizar el desarrollo rural, desde las diferentes estrategias agrícolas, ganaderas y sociales de las comunidades campesinas-indígenas, no se puede ignorar un nuevo elemento que se ha introducido en la discusión: la convivencia de dos actividades opuestas, como son la minería y la agropecuaria. No tanto porque sean actividades nuevas sino más bien por la creciente demanda de respeto a los derechos sociales, culturales, económicos y otros, de estas organizaciones. Es decir, el desarrollo sostenible de

estas comunidades en función de la RSE y RA de las empresas mineras.

- B.** Cecilia Horna Chaffo y Augusto Chung Ching (2009, PUCP) en su tesis **“La responsabilidad social de las empresas mineras. perspectivas de enfoque cluster”**, explican que las interacciones en la triada Empresa-Estado-Comunidad generan en la minería diferentes intereses y percepciones. La resolución de los conflictos es aún lenta, reactiva e improvisada. Hacer minería es impensable fuera del contexto social. El reconocimiento de imperfecciones y causas subyacentes al problema, ha permitido entender y avanzar el concepto de Responsabilidad Social en una mejor comprensión del entorno humano alrededor de la minería. El concepto de Responsabilidad Social no es reciente y son muchos los términos y temas en torno a ella. Se habla de solidaridad, filantropía social, inversión social, medio ambiente, ética empresarial, códigos de conducta, ciudadanía corporativa, desarrollo local, desarrollo humano y desarrollo sostenible. Para las minas el término no espera. Se trata de aterrizar y actuar concretamente la responsabilidad social a nivel local; pero ¿Cómo concretar en acciones específicas y contundentes? En el accionar social de las empresas en su rol de desarrollo sostenible. Existe por lo general la convicción de la población circunvecina a las empresas mineras que la forma más

concreta de ayuda local es la promoción de proveedores y contratistas locales. Esto es cierto, pero para que esta acción se transforme en un efecto sostenible es preciso organizar los encadenamientos de la minería con los recursos actuales y potenciales de la localidad y de la región de influencia de la minería. El *clúster* o aglomeración de actividades industriales alrededor de una zona geográfica es un modelo de organización y de desarrollo económico local que exige la articulación de las comunidades, las empresas y el Estado en todos sus niveles. Los *clúster* rompen barreras creando nuevas fronteras y abriendo vínculos sociales. El proceso de integración o articulación entre la empresa minera que opera en la lógica de las empresas multinacionales y la economía red, con la economía local y regional preindustrial, es un proceso de asimilación y de transformación que necesariamente debe quemar las etapas convencionales del desarrollo. Tiene que ver con el aprovechamiento de oportunidades; el carácter emprendedor de personas y empresas, la disponibilidad de capital; las reglas claras en la economía nacional, las leyes de promoción y fomento regional, la cercanía de servicios, la presencia de instituciones locales, gobernabilidad y el desarrollo local. La formación del *clúster* requiere, además de las instituciones de promoción y apoyo por parte del gobierno, el concurso de las universidades. Asimismo, requiere la

articulación insumo-producto entre empresas de servicios, productores y proveedores institucionales tanto locales como regionales. El reto de esta alternativa de cambio estructural del desarrollo regional y local consiste en la estructuración de estas cadenas de racionamiento productivo e institucional. La presente tesis se adentra en esta opción de la “Responsabilidad Social de las Empresas Mineras” observando la situación actual de esta alternativa desde el punto de vista de tres actores potenciales que son los conglomerados industriales: Yanacocha, Pierina y Alto Chicama, procurando explorar las posibilidades y viabilidad de la gestión del desarrollo local sostenible desde la perspectiva del *clúster* minero.

- C. Enrique Guadalupe Gómez y Norma Elizabeth Carrillo Hidalgo manifiestan en su artículo, “**El paradigma de la educación ambiental y los conflictos sociales en minería**”, que el Perú es un país megadiverso en cuanto a su ecología, también tiene una gran diversidad mineralógica que permite un desarrollo considerable al sector minero y este a la vez puede generar conflictos en las comunidades y ciudades, cuyos pobladores se ven aparentemente amenazados, porque, según su concepción, la minería destruirá toda la flora y fauna; además, contaminará los ríos y fuentes de agua. Todo este pensamiento, en la mayoría de casos, no permite el desarrollo de la minería y por ende del

país. Partimos del paradigma que sólo la educación ambiental cambiará la mentalidad del poblador peruano que habita en la zona de influencia de las minas y ésta debe ser ejecutada por universidades y profesionales que conocen el medio ambiente en el sector minero. La enseñanza seria, responsable y bien concebida, será capaz de transformar la percepción y actitudes de los pobladores, contrarias al desarrollo de la minería. Asimismo, se presenta aspectos de la educación ambiental en educación primaria y secundaria, la capacitación docente y finalmente se llega a la conclusión que una población con sólidos conocimientos ambientales, tanto teóricos como prácticos, estará en condiciones de decidir por sí misma con conocimiento de causa y optar por una minería que respete a la sociedad y el medio ambiente de los ecosistemas, dando crédito a una minería compatible con otros sectores, ya sea agrícola, ganadero, industrial u otros y proponer el desarrollo sustentable y el progreso mancomunado del país.

- D. El Profesor del Departamento de Ciencias de la Tierra y Atmosféricas de la Universidad de Alberta, Canadá, **Jeremy Richards** en su tesis “***Sustainable development and the mineral industry***”, publicado en el *SEG Newsletter, Society of Economic Geologists*, N° 48, Enero 2002, a menudo plantea el argumento que el concepto de desarrollo

sustentable es incompatible con la industria extractiva de minerales y que la minería en cualquier forma no es sustentable. Sin embargo, considerando que los bienes materiales de la sociedad moderna están fabricados en su mayor parte con productos minerales (*Nowlan, 2001*) la extensión lógica del argumento anterior sería que debemos regresar a la Edad de Piedra (pero sin canteras de sílice en mente). El apoyar esa posición puede ser considerado anti-humano, porque una característica de nuestra especie es la búsqueda de mejores condiciones de vida para nosotros y nuestras familias. Se predice que la población de este planeta crecerá a 9 mil millones para el año 2050 (*Lutz et al., 2001*), por lo tanto, en vez de restringir la minería será necesario expandir la producción minera para apoyar el crecimiento de la población. Si se acepta que el bienestar y progreso de la especie humana es una causa valiosa, entonces, estamos moralmente obligados a considerar el asunto del desarrollo sustentable en todos los aspectos de nuestras vidas. Pero ¿qué significa “desarrollo sustentable” en general y específicamente para la industria minera? El Informe Brundtland de la Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo (Naciones Unidas, 1987, p. 43) define **desarrollo sustentable** como “**lograr las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para lograr sus propias necesidades**”. En

forma similar el organismo de Recursos Naturales de Canadá (2001) “ve en el desarrollo sustentable como la integración de consideraciones ambientales, económicas y sociales, como la clave para asegurar el mantenimiento de la calidad de vida y continuación de la creación de empleo, sin comprometer la integridad del ambiente natural o la habilidad de generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades”. El organismo de Recursos Naturales de Canadá (2001) va más allá señalando que “los recursos naturales son el epítome del desafío del desarrollo sustentable. Pocos sectores tienen un impacto más directo en el ambiente natural, pero pocos son más importantes para el desarrollo económico y social de cada región de Canadá”. Esos planteamientos no intentan decir que el desarrollo no debe tener ningún impacto ambiental (*McAllister and Milioli, 2000*) claramente esto es imposible si los materiales no renovables, o incluso los renovables, se extraen de la tierra (hay que notar que la agricultura y la industria forestal tienen un sello mucho más marcado que la minería en este sentido y probablemente un impacto ambiental mucho más negativo si se consideran los efectos de los fertilizantes y pesticidas). Por el contrario, lo que se intenta es indicar que **debe haber un balance entre la perturbación o impacto causado y la capacidad del planeta para acomodar el cambio**. Hoy en día la evidencia muestra que la emisión

de gases que causan el efecto invernadero no es sustentable porque ellos causan un progresivo calentamiento global del clima. El cortar la electricidad o el gas no es la respuesta sustentable de la sociedad a este problema, sino que el desarrollo de nuevas tecnologías más limpias y eficientes desde el punto de vista energético. Además, es posible que como sociedad se tenga que transar aceptando temperaturas un poco más altas con tal de tener estándares de vida altos (al planeta no le importa mucho, porque frecuentemente han habido condiciones climáticas bastante más calientes en el pasado geológico). Sin embargo, no se puede permitir que la situación se escape de las manos (calentamiento desmedido), de modo que es imprescindible establecer un balance. Consecuentemente, cuando se considera la sustentabilidad de la industria minera la opción de prohibir la minería no es una consideración real, pero todas las otras facetas de la industria deben ser revisadas. La sustentabilidad de la industria minera descansa en tres bases que incluye aspectos económicos, ambientales y sociales (*Mining Journal*, 2000). Cada uno de estos aspectos debe ser considerado por separado, aunque una solución sustentable requiere una integración global de los tres aspectos. Además, para que la sustentabilidad sea real se requiere de una cuarta base que son las políticas gubernamentales.

E. Muzeda, (2010) en su tesis titulada **“An Investigation into the Effect of Water Quality on Flotation Performance”**, indica que la calidad del agua afecta el rendimiento de la flotación en particular en la recuperación y la ley o grado. Los resultados de la flotación semicontinua indican que puede conducir a una alta recuperación y un mayor arrastre de masa pero un grado de concentrado más bajo. El uso de aguas espesadas, de retorno y de efluentes de aguas residuales disminuye el arrastre de masa. Los valores de pH más cercanos a 7 mejoraron el grado de concentrado mientras que los superiores a 7,15 dieron como resultado valores de recuperación más bajos. La presencia de sólidos disueltos en aguas residuales de procesamiento de minerales puede resultar en una recuperación reducida, pero un mejor grado de concentrado. Se comprobó que la conductividad del agua mejoraba el grado de concentrado al mismo tiempo que se reducía la recuperación. Un alto contenido de sólidos en suspensión en agua recirculante conduce a una disminución de las recuperaciones de concentrado. Se puede concluir que la calidad y el origen del agua tienen un impacto en el rendimiento de flotación. Después de este estudio detallado de la influencia de la calidad del agua sobre el rendimiento de la flotación, se recomienda utilizar una combinación de agua de proceso y agua potable en los circuitos de flotación. Esto equilibrará el efecto adverso que

tienen los diferentes tipos de agua en el desempeño de las operaciones de procesamiento de minerales. Es importante y rentable asegurar que el sistema de recirculación de agua dentro de una planta es optimizado y la calidad del agua utilizada en flotación se mantiene constante. Uno de los principales problemas relacionados con el uso del agua en las plantas metalúrgicas es su alto nivel de fluctuación en la calidad. La flotación es sensible a las variaciones en la calidad del agua y se recomienda que las corrientes de agua se gestionen de tal manera que se minimicen las fluctuaciones de calidad y se asegure la coherencia en la calidad. Una combinación óptima y consistente de flujos de agua también asegurará la estabilidad del proceso.

### **3.2. Base teórica o conceptual**

#### **1. Participación ciudadana en la actividad de las empresas mineras**

Según Castillo y Ávila (2009), Bautista (2011) manifiestan que: La participación ciudadana es una herramienta de prevención de conflictos, en tanto propicia espacios de diálogo y permite conocer los reales intereses de los diferentes actores involucrados. Su eficaz implementación permite no solo el desarrollo y empoderamiento de una ciudadanía responsable, sino que además favorece la sostenibilidad de la inversión en aspectos sociales y ambientales que beneficia a todos los involucrados. La

participación ciudadana es un derecho fundamental contenido en la Constitución Política de 1993 donde el artículo 2 consagra el derecho de acceso a información de las entidades públicas y el artículo 31 promueve el derecho a participar, en forma individual o asociada, en la vida política, económica, social y cultural del país. La participación ciudadana, en su acepción más amplia, abarca tanto la participación influyente de los ciudadanos en general en la toma de decisiones y formulación de políticas que les afecten como los derechos a la participación y a la consulta de los ciudadanos con derechos especiales, y se desarrolla en la Ley de Participación Ciudadana N° 26300 y en la Ley de Bases de la Descentralización, la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales y la Ley Orgánica de Municipalidades. Otras normas que establecen mecanismos de participación ciudadana se encuentran dispersas en la legislación sobre el acceso a la información y la transparencia (Ley N° 27806) y la normatividad propia de cada sector como, por ejemplo, la Ley del Sistema Nacional de Impacto Ambiental N° 27446 o la Ley General del Ambiente N° 28611 o los Decretos Supremos que reglamentan la participación ciudadana en los sectores de energía y minas (DS N° 028-2008- EM y DS N° 012-2008-EM). A pesar de las diferencias que existen entre las zonas de operación minera del país y las particularidades de las relaciones entabladas entre empresas y comunidades específicas, existen algunas

características comunes en todas ellas. Estas características suponen retos significativos para la relación entre empresa-población-estado y minería-desarrollo local. Las principales características en común son: a) **Poca presencia del Estado.** La falta de acción del Estado es especialmente significativa en tres de sus roles fundamentales: i) promotor del desarrollo local, especialmente si se tiene en cuenta que la gran mayoría de la actividad minera se realiza en zonas altoandinas caracterizadas por situaciones de pobreza y carencia; ii) garante de los derechos de los ciudadanos, entre ellos el derecho a ser informados; y iii) reductor de la asimetría en la relación entre empresas y poblaciones locales. Esta asimetría, entre otros aspectos, implica niveles diferentes de conocimiento y asesoría para la toma de decisiones. b) **Bajos niveles de institucionalidad.** Una característica muy extendida en la sociedad peruana es, de un lado, la baja presencia de canales institucionales a nivel local a través de los cuales la población pueda resolver sus problemas y alzar su voz. A esto se añade que la calidad del funcionamiento de las instituciones es percibida como bastante pobre. Ejemplo de ello es el descrédito generalizado que tienen instituciones centrales para el funcionamiento del sector como el poder judicial o los organismos reguladores. Esta pobre institucionalidad se produce tanto a nivel estatal (p.e. policía, DREMs, programas sociales) como a nivel privado (p.e. juntas

de regantes, fundaciones de fideicomiso, comités de base). Asimismo, esta fragilidad institucional se ve reflejada en la debilidad de las organizaciones de base, como son las organizaciones campesinas o indígenas. Esta debilidad se refiere tanto a la extensión de sus redes como a la calidad del ejercicio democrático de sus operaciones. c) **Bajos niveles de representatividad local.** Muy ligada a la característica anterior, se encuentra el hecho de que buena parte de la población no se siente representada por sus autoridades. Esta situación es sentida, de un lado, como una lejanía entre los intereses del representante y los representados y, de otro lado, como la falta de mecanismos de vigilancia de las acciones del representante, una vez que se ha investido de autoridad. Las consecuencias de esta baja representatividad se expresan nítidamente cuando la población local desconoce a sus autoridades (p.e. juntas comunales o gobiernos locales) y considera que los acuerdos que ellas han alcanzado no responden a los intereses del bien público. Cabe recordar, que como ha sido explicado en el apartado primero, la participación es un derecho reconocido por la Constitución Política del Perú. Sin embargo, su ejercicio supone un adecuado funcionamiento de los sistemas representativos de la democracia, funcionamiento que es sentido como altamente inadecuado en el país. d) **Generación de rentas relativamente altas en regiones y localidades con una historia de bajos niveles de**

**ingreso.** Los ingresos que los gobiernos regionales y locales vienen logrando en los últimos años, como parte de los beneficios mineros, no tienen precedentes en la historia republicana. Así, para dar un ejemplo, mientras en 1996 el gobierno central transfirió 15 millones de nuevos soles por concepto de canon y regalías mineras a las regiones; en el año 2007 transfirió 4 150 millones de nuevos soles a precios constantes del año 96 (Ministerio de Economía y Finanzas 2008, tomado de Arellano 2008). Estos ingresos generan oportunidades que para ser bien aprovechadas requerirían de un mayor andamiaje institucional y técnico previos a favor de los gobiernos locales y promovidos desde el gobierno central. De otra forma, estos enormes ingresos podrían ser fuente de conflictos entre diversos agentes (Arellano, 2008, 2010).

De otro lado, en este País, la participación ciudadana en los proyectos minero-metalúrgicos es política y gestión del Estado, porque a través de distintas normas legales se dispone y garantiza esta participación, así mediante Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, en sus artículos 13 y 14 se garantiza instancias formales para la difusión y participación e instancias no formales para incorporar en el estudio de impacto ambiental la percepción y opinión de la población potencialmente afectada o beneficiada, así como que el proponente presente un plan de participación ciudadana y su ejecución y que la

autoridad competente efectúe la consulta formal durante la etapa de revisión de estudios de impacto ambiental detallados y semi-detallados mediante audiencias públicas. Merece una atención particular el reglamento ambiental para las actividades de exploración minera (Decreto Supremo N° 038-98-EM), que en su artículo 2º establece que el desarrollo de actividades de exploración minera requiere el acuerdo previo con el propietario del terreno superficial o la culminación del proceso de servidumbre. Este es un hecho de particular importancia, porque obliga a las partes a ponerse de acuerdo, dialogar, concertar, negociar y que el Estado Peruano reconoce el derecho de propiedad superficial, así como el derecho real del concesionario. Igualmente el reglamento de consulta y participación ciudadana en el procedimiento de aprobación de los estudios ambientales en el sector energía y minas (Resolución Ministerial N° 596-2002-EM/DM) norma la participación de las personas naturales, organizaciones sociales, titulares de los proyectos mineros o energéticos y autoridades en el procedimiento por el cual el Ministerio de Energía y Minas desarrolla actividades de información y diálogo con la población involucrada en proyectos mineros, así como en el procedimiento de evaluación de los estudios de impacto ambiental; en el artículo 3º de este Reglamento se establece la realización de consultas previas a través de talleres informativos durante la elaboración del estudio de impacto ambiental y a la

conclusión de ésta el desarrollo de una o más audiencias públicas y el cumplimiento de los talleres previos y las audiencias corre a cargo de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas y de la Dirección Regional de Energía y Minas, quienes son los encargados de determinar el número de talleres y audiencias.

## **2. Responsabilidad social y minería**

El concepto de responsabilidad social y minería significa tener con las comunidades una relación horizontal, con responsabilidades y retos compartidos. Se debe involucrar a las empresas y a la comunidad en alianzas estratégicas con una visión de desarrollo sostenido. Se debe pensar este vínculo como algo que debe generar valor más allá de la vida misma de la operación minera. Se debe considerar que en la mayoría de los casos la minería desarrolla sus actividades sobre los 3 500 msnm, en lugares alejados y con muchas carencias. Por esta razón, la puesta en marcha de operaciones mineras genera una serie de servicios y obras de infraestructura en su entorno que benefician a los pobladores de las comunidades aledañas, las mismas que en otras circunstancias tardarían años en ser atendidas. Sin embargo, es necesario que la comunidad participe de los procesos, esté informada y conozca los programas de la empresa minera para proteger el medio ambiente y su entorno social. Es

decir, debe practicarse una política de transparencia y apertura que involucre a las autoridades, líderes de opinión, instituciones representativas y población en general. Ese, pues, es el reto de la nueva minería en sus objetivos de responsabilidad social. Demostrar en los hechos que la ecuación minería-entorno social-cuidado del medio ambiente es posible, y que debe ser el engranaje para traer desarrollo a las zonas donde se realizan operaciones mineras. La nueva minería implica, además, que las empresas tengan un compromiso real no sólo con la responsabilidad social y el cuidado del ambiente, sino con la promoción del desarrollo sostenible. La responsabilidad social empresarial es un concepto que puede definirse también como una filosofía adoptada en la gestión de la empresa para actuar, no solo en beneficio propio, sino también en beneficio de sus trabajadores, familias y del entorno social. La práctica de la responsabilidad social empresarial (en adelante RSE) implica que las empresas desarrollen una visión integral para el futuro donde se dé el triple beneficio de rentabilidad para la empresa, mejora del entorno inmediato y beneficio para la sociedad como un todo en un sentido más extenso. La difusión del concepto de RSE como el triple beneficio todavía está en su etapa inicial en el Perú. Sin embargo, se ha avanzado mucho en los últimos cinco años y hoy es una idea acogida por varios gremios empresariales como CONFIEP, la SNMPE, Comex y Perú 2021 (Quijandría, 2005).

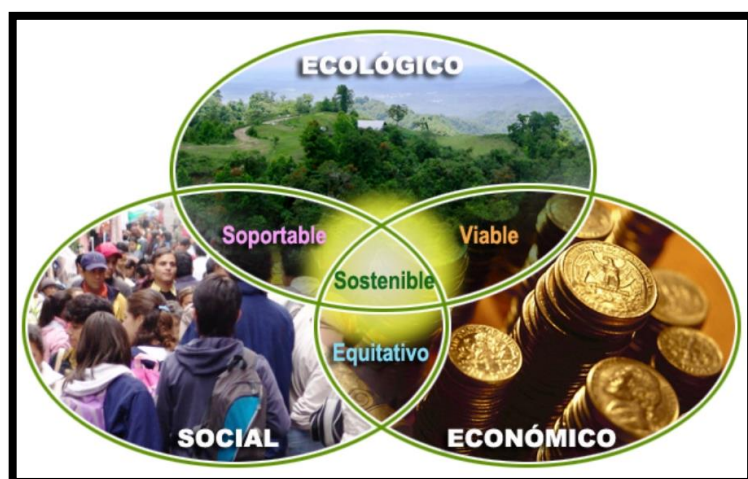
Quijandría (2005) manifiesta también que “Finalmente, la minería moderna aplica tecnologías de punta para mitigar posibles impactos; asimismo, implementa procesos de comunicación y consulta, basados en la transparencia, buscando involucrar a la comunidad en el control y en el manejo ambiental (monitoreos, evaluaciones, comités medioambientales). En conclusión, la minería busca ser líder en contribución empresarial y social al país. Entonces, ¿por qué los conflictos entre empresas mineras y las comunidades son cada vez más frecuentes? No tenemos una respuesta tajante, pero dos factores influyen claramente: la minería sabe cómo transformar recursos naturales en productos con valor agregado, de manera rentable, pero no tiene la fórmula única para la lucha contra la pobreza de las poblaciones en su entorno. Tan solo es un actor más que puede ayudar en la búsqueda del desarrollo sostenible y es así como debe ser percibido; y, en segundo lugar, el sector minero no ha sabido cómo comunicar los beneficios que trae para el país y las comunidades de su entorno”.

### **3. Desarrollo sostenible**

En 1987, la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo de las Naciones Unidas presenta el llamado Informe Brundtland. Este informe concretamente propone impulsar el desarrollo sustentable como un

camino para corregir la crisis ecológica global y los problemas de equidad, y fue definido como aquel *“desarrollo que permite satisfacer las necesidades de la presente generación, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas”*. El desarrollo sustentable se presenta como un nuevo paradigma que exige la integración del aspecto económico, social y ambiental y, junto a ello, una redefinición de relaciones y responsabilidades del gobierno, las empresas, las ONG, las escuelas, las universidades y demás organizaciones de la sociedad. El desarrollo ya no es sólo económico y ligado al crecimiento de la producción y el consumo, donde la empresa cumple un rol importante en cuanto es el motor de dicho crecimiento. Hoy, la empresa, como producto de las nuevas demandas de la sociedad, tiene un papel más amplio, no solamente ligado a la producción de bienes, a la generación de riqueza y al cumplimiento de las normas que se le exigen para poder funcionar. El ámbito del **desarrollo sostenible** (Figura 26) puede dividirse conceptualmente en tres partes: ecológico, económico y social. Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica. El triple resultado es un conjunto de indicadores de desempeño de una organización en las tres áreas. Deben satisfacerse las necesidades de la sociedad como alimentación, ropa, vivienda y trabajo, pues si la pobreza es habitual, el mundo estará encaminado a catástrofes de varios

tipos, incluidas las ecológicas. Asimismo, el desarrollo y el bienestar social, están limitados por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana. Ante esta situación, se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología y la organización social de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.



*Figura 25.* Representación esquemática del Desarrollo Sostenible.  
Fuente: Adaptación de concepto del Informe Brundtland.

#### **4. Cumbre del MERCOSUR: la minería como factor de desarrollo**

En la edición 39 de la Cumbre del MERCOSUR, celebrada los días 2, 3 y 4 de agosto de 2010, fueron abordados diferentes y diversos temas (por el ejemplo: el código común aduanero, etc.), pero uno fue muy importante para la industria minera toda: la asunción de que el desarrollo minero es uno de los factores de desarrollo regional. Es muy importante

para el sector un respaldo como este. En términos estrictos, en la Declaración del MERCOSUR que firmaron los mandatarios de la Argentina, Cristina Fernández de Kirchner; del Brasil, Luiz Inácio Lula da Silva; del Paraguay, Fernando Lugo; y del Uruguay, José Mujica; y el Ministro del Poder Popular para Relaciones Exteriores de la República Bolivariana de Venezuela, Nicolás Maduro Moros, en representación del Presidente Hugo Chávez Frías se destaca la importancia de la actividad minera para el desarrollo económico y social de la región. En rigor, los presidentes del MERCOSUR dejaron claro que la minería, los minerales y los metales son vitales y estratégicos para el desarrollo económico y social de los países del MERCOSUR. Esta afirmación cuenta un respaldo importante que guarda relación con los resultados de la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible del 2002. Los presidentes sellaron, en el documento por ellos rubricado, su preocupación por aquellas medidas de terceros países, que busquen limitar “el pleno desarrollo del sector minero del bloque en un marco de afincamiento de nuevas inversiones, desarrollo de nuevos proyectos y generación de empleo, creando oportunidades de inclusión social y progreso económico”, de acuerdo con el texto firmado por los mandatarios. Uno de los respaldos más fuertes y trascendentes del documento es la referencia a la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible de Johannesburgo de 2002, en la que se reconoció que “la minería, los

minerales y los metales son importantes para el desarrollo económico y social de muchos países”. El único aspecto que puede relevarse como negativo, es la preocupación de los países de la región frente a las restricciones planteadas por otros mercados, que proponen trabas restrictivas a la industrialización y comercialización de productos de sectores productivos como la minería de nuestro continente. Y esto no es menor, porque lo que debería generar consensos productivos en muchas oportunidades encuentra caminos cerrados y miradas pesimistas. Luego de la firma del Documento, el Secretario de Minería de Argentina, Ing. Jorge Mayoral, manifestó que la declaración rubricada por los presidentes repone la importancia de actividades productivas como la minería para el crecimiento de nuestros pueblos al tiempo que “fija la autonomía del bloque continental para decidir sobre los procesos de desarrollo de sus países”. “Estas son las verdaderas políticas de Estado que hacen posible la concreción de inversiones para el afincamiento de nuevos proyectos productivos que contribuyen a generar trabajo genuino, desarrollo y mejor calidad de vida para muchas de nuestras comunidades”, destacó Mayoral. Las palabras del secretario de minería permiten tomar conciencia del diferencial de la industria minera, y asimismo, habilita a pensar cómo este sector aporta a la calidad de vida y el bienestar de las comunidades en las que se emplaza. La minería es generadora de desarrollo económico y

social para la región, y esto supone incluir tanto la producción y procesamiento de minerales industriales, rocas de aplicación, minerales metalíferos, fabricación de ladrillos, cales y cementos, piedras preciosas así como también aguas termales para uso turístico, terapéutico y medicinal. Así por ejemplo merece señalar que en nuestro país este sector genera empleos para más de 500 mil argentinos. Asimismo, en un corto plazo se aguarda la puesta en marcha de unos 15 proyectos de escala internacional que implicarán inversiones que superan los 130 mil millones de pesos y la creación de 400 puestos de trabajo nuevos. Pero se olvidaron de ratificarse de un pilar fundamental de este desarrollo, el Ambiental. En el Perú está ocurriendo lo mismo.

**5. Resolución: Minería del siglo XXI basada en desarrollo responsable y sostenible sobre la base del Informe Comisión de Desarrollo Sostenible, Medio Ambiente, Política Energética, Investigación, Innovación y Tecnología (Resolución de 5 de junio de 2015 – Bruselas (Bélgica))**

Se toma los puntos siguientes:

1. 20. Insta a los Gobiernos a que capaciten a las entidades locales para gestionar de forma responsable y transparente los recursos de la explotación minera, impulsando los proyectos duraderos y promoviendo el desarrollo sostenible;

2. 21. Considera esencial que se reconozcan y garanticen los derechos y las culturas tradicionales de los pueblos indígenas en el desarrollo de las industrias extractivas en zonas de alto valor ecológico o habitadas por ellos, y que se asegure su consulta y participación previa e informada; anima en consecuencia a los países que aún no lo hayan hecho a implementar el Convenio 169 de la OIT a través de su legislación nacional de tal forma que la “consulta previa” tenga un carácter vinculante y constituya así un elemento facilitador del proceso de desarrollo local y participación ciudadana; pide a las autoridades que creen capacidad para organizar consultas con las comunidades locales, evaluar adecuadamente la petición de concesión, supervisar el lugar y evaluar el impacto económico, ambiental y social de la minería antes de otorgar las concesiones;
3. 22. Destaca la necesidad de garantizar el acceso efectivo a la justicia a las víctimas de violaciones de la legislación social o medioambiental;
4. 23. Destaca que con arreglo a la legislación internacional y europea en materia de derechos humanos, los Estados miembros de la UE tienen la obligación de garantizar que las empresas que actúan dentro de su jurisdicción no ocasionen ni contribuyan a que se

produzcan violaciones de los derechos humanos, de forma directa o indirecta, a través de sus actividades;

5. 24. Reconoce que en las últimas décadas, la industria minera europea ha progresado considerablemente en términos de protección de medio ambiente y nota con satisfacción la aceptación general dentro de las empresas activas en este sector que tienen que compatibilizar sus actividades con el desarrollo sostenible y el medio ambiente; pide sin embargo, a la Comisión Europea que promueva activamente una conducta empresarial responsable entre las empresas de la UE que operan en terceros países, garantizando el estricto cumplimiento de todas las obligaciones legales, en particular en lo que se refiere a las normas internacionales en materia de derechos humanos, trabajo y medio ambiente.

## **6. La paradoja del rechazo social a las explotaciones mineras**

A pesar de nuestra enorme dependencia por los recursos minerales y sus derivados, tanto mayor cuanto mayor es el grado de desarrollo de nuestra sociedad, existe hoy día un rechazo generalizado, variable según los países, pero bastante grande en España, hacia las explotaciones mineras (López J, (s.f)). Parecería como si la mayoría de los ciudadanos no fueran conscientes de la necesidad de los recursos minerales, como si

para el ciudadano medio fueran el más desconocido armazón del desarrollo, de un desarrollo y bienestar deseado por muchos, pero del que no se quiere o no se sabe ver sus orígenes y su fundamento. Europa es consumidora de un tercio de los recursos minerales producidos, la piedra natural, el feldespato y, en menor medida, el estroncio son las excepciones; la extracción de la mayor parte de las materias primas minerales no alcanza a nivel mundial. Pero como es sabido, la minería sufre de una imagen de actividad generadora de fuertes impactos ambientales; bien ganada mala fama porque hasta épocas muy recientes el concepto de *sostenibilidad ambiental* no encontraba cabida en los planteamientos estratégicos de las empresas mineras. Sin embargo, no parece *éticamente sostenible*, que siendo Europa, y España en particular, grandes consumidoras de materias primas minerales, y beneficiarias del nivel de desarrollo que su transformación proporciona, se eluda asumir la co-responsabilidad de su extracción con argumentos medioambientales. Las sociedades desarrolladas parecen así querer confinar en terceros países (generalmente países en desarrollo) los pasivos ambientales de la actividad extractiva (el síndrome NIMBY de los anglosajones), aún a sabiendas que no es la extracción la que genera los mayores índices de desarrollo, sino su transformación, que en cambio sí quedaría en manos de los países más avanzados tecnológicamente. Sin embargo, gracias a los avances

tecnológicos y a los nuevos planteamientos ambientales, pueden corregirse los impactos ambientales negativos de la actividad extractiva, siendo de nuevo los países en desarrollo los menos dotados para hacer frente a estos impactos negativos, no sólo por su menor desarrollo tecnológico sino también por un menor desarrollo de sus administraciones ambientales y mineras, responsables de la adecuada aplicación de sistemas de gestión ambiental sostenible en el sector minero (López J, (s.f)).

## **7. Sustentabilidad económica**

Hace unas pocas décadas atrás la única consideración de una compañía minera para tomar la decisión si explotar o no una mina o cómo hacerlo era si el producto mineral podía o no ser vendido con beneficio económico. Desafortunadamente, se heredó los efectos de esa época y muchos (pero ciertamente no todos) de los titulares de noticias ambientalistas se refieren a antiguas labores mineras abandonadas o sus depósitos de desechos (Walter, 1994). El obtener ganancia y consecuentemente un retorno competitivo para las inversiones de accionistas todavía es, y con derecho, un objetivo primario de la industria minera. Después de todo la creación de riqueza a través de la creación de rentabilidad y empleo es una parte integral de la ecuación de desarrollo sustentable, pero ¿será correcto decir (como lo dijo Sir Robert Wilson el

Director de Río Tinto en la segunda Conferencia Global de Metales y Minería de Prince water house Coopers; ver Mining Journal, 2001b) que la aplicación del desarrollo sustentable es transar contra las ganancias? Se cree que esto no es necesariamente cierto en varios niveles. Primero, si la sociedad no está convencida que una operación minera es sustentable (cualquiera que sea la definición que se use), entonces no habrá ganancias de ningún modo, porque la operación minera será postergada o completamente detenida (Ej. Atrasos en Voisey Bay, Canadá y Tambo Grande en Perú; paralización de las operaciones en el pórfido cuprífero de Junín, Ecuador). Segundo, existen numerosos ejemplos en los que los avances tecnológicos son también mejores desde el punto de vista ambiental y más económicos, y por lo tanto, más rentables (Ej. Técnicas de extracción hidrometalúrgicas y biotecnológicas que no producen emisiones de azufre o ácido; eficientes técnicas mineras de excavación y recubrimiento que mejoran la calidad de la tierra para agricultura posminería, Chadwick (2001). Del mismo modo, la planificación creativa durante el cierre de minas puede dejar sitios que generen ganancias como recreativas, ambientales o industriales, las cuales pueden cubrir parte o incluso dar ganancias respecto la inversión de reclamación del terreno. Tercero, la relación entre lo que constituye ganancia y el valor de tiempo del dinero es algo truculenta. Las consideraciones de largo plazo usan el

concepto de costos totales para calcular el factor de todos los costos durante la vida de una operación minera y posterior a ella, incluyendo los costos de reclamación y responsabilidades económicas posteriores al cierre (o potenciales ganancias). Sin embargo, como destacó un editorial del Mining Journal (2001), la rentabilidad en los ambientes de inversión típicamente se mide en una escala de tres meses correspondiente a los informes de rentabilidad que publican las compañías mineras privadas cuatro veces al año. Ante cualquier señal de cese o disminución de ganancias, los inversionistas rápidamente abandonan vendiendo sus acciones y consecuentemente los precios de las acciones bajan y en último término el valor de la compañía misma. En el mismo editorial del Mining Journal destaca que inversiones tecnológicas como el proceso biohidrometalúrgico que están desarrollando CODELCO y BHP Billiton (Alliance Copper) puede no producir ganancias por varios años y consecuentemente en este contexto podría no ser visto como una buena inversión en el corto plazo.

## **8. Norma internacional ISO 26000 – responsabilidad social**

La ISO 26000 es una norma internacional que ofrece una guía en Responsabilidad Social. Está diseñada para ser utilizada por organizaciones de todo tipo, tanto en los sectores público como privado, en

los países desarrollados y en desarrollo, así como en las economías en transición. La norma les ayudará en su esfuerzo por operar de la manera socialmente responsable que la sociedad exige cada vez más. La ISO 26000:2010 contiene guías voluntarias, no requisitos, y por lo tanto, no es para utilizar como una norma de certificación como la ISO 9001:2015 y la ISO 14001:2015 (Figura 26).

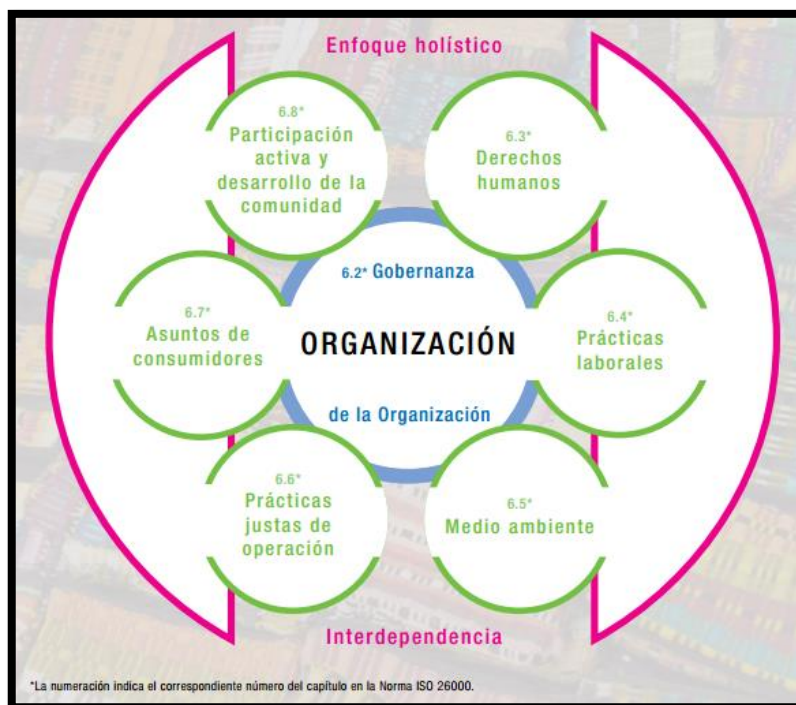


Figura 26. Esquema de la ISO 26 000:2010.  
Fuente: INDECOPI, 2011

## 9. Consumo de agua en minería

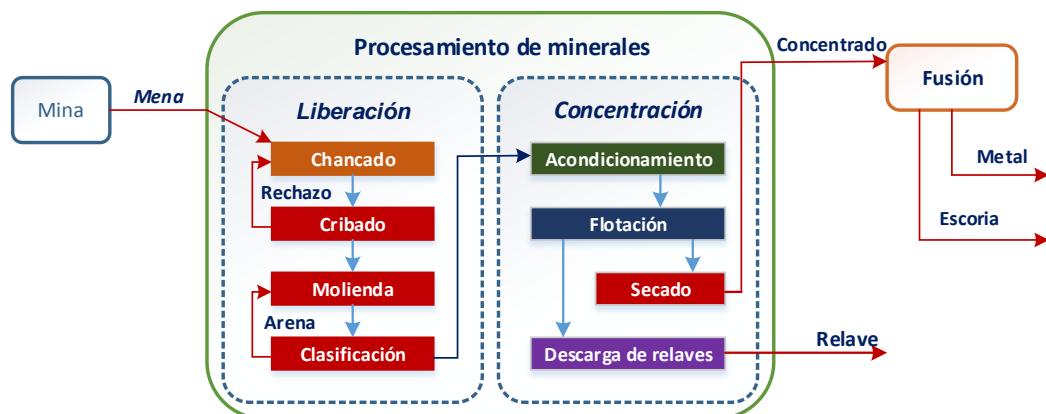
La minería hace uso intensivo de agua (Chaparro, 2009). Su actividad puede realizarse en zonas donde este recurso escasea y es objeto de alta

competencia (por necesitarse para actividades agrícolas o el abastecimiento mismo de agua potable), o afectar a otros sectores y usuarios por eventuales episodios de contaminación. La situación tiende a ser más compleja cuando la minería se realiza en zonas ecológicas o socialmente sensibles o en sus cercanías. Las primeras pueden ser áreas protegidas en las que la alteración del ciclo hidrológico incida negativamente en la calidad y cantidad de bienes y servicios ecosistémicos que producen y prestan. En las segundas, las zonas socialmente sensibles, la actividad podría comprometer a comunidades indígenas o altoandinas. Si bien el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) es un instrumento que entrega a las comunidades indígenas la atribución de participar en las decisiones sobre ejecución de proyectos en sus territorios, la realidad histórica, las condiciones asimétricas con respecto a las grandes compañías y las limitaciones a la completa implementación del Convenio, sugieren el posible surgimiento de situaciones perjudiciales para las comunidades. A las empresas mineras les interesa incrementar la eficiencia en la utilización del agua en los procesos minero-metalúrgicos. De hecho, en los últimos años se han logrado mejoras notables y permanentes en este sentido, poniendo en práctica la utilización del agua de mar desalinizada. Los elevados consumos de agua se tienen en los circuitos de molienda-flotación. Cuando se tratan minerales sulfurados de

cobre y polimetálicos. En el caso de tratamiento de minerales oxidados de cobre, los elevados consumos se tienen en la etapa de lixiviación. En promedio el consumo y pérdida es como sigue: a) Concentración de 0,5–0,8 m<sup>3</sup>/t mineral; b) Hidrometalurgia de 0,01–0,3 m<sup>3</sup>/t mineral. Por otro lado, el agua en plantas concentradoras se pierde por evaporación en depósitos de relaves, espesadores, acopio de mineral y concentrados, secado del concentrado previo a la fusión, etc.

## 10. Fundamentos de la flotación de minerales

Para llevar a cabo la concentración de un mineral sulfuro se tiene que pasar por las operaciones de conminución (Kelly, 1982).



*Figura 27.* Esquema de procesamiento de sulfuros de cobre.  
Fuente: Adaptado de Kelly, 1982.

El proceso de flotación por espuma es un ejemplo sobresaliente de la química de superficies aplicada. Se utiliza ampliamente en la minería, metalurgia y la industria química para la separación y concentración

selectiva de minerales de valor de otros sólidos sin valor (ganga). Minerales de alta concentración sirven como materia prima para la producción de metales y productos químicos adecuados para posteriores usos. La importancia de la flotación en la tecnología se debe principalmente a la facilidad con que se puede hacer selectiva y versátil y a la economía del proceso (Matis, 1995).

La flotación se basa en la unión de la partícula mineral a una burbuja de aire. Como las partículas minerales liberadas en forma de pulpa se adhieren a la burbuja de aire que desplaza el agua de la superficie del mineral y crea un contacto eficaz, que se produce cuando la superficie del mineral es o ha sido hecho hidrofóbico en un grado apreciable por la naturaleza misma del mineral o por la adición de un colector de naturaleza heteropolar. Una medida de la hidrofobicidad de la partícula mineral es la medida en que la burbuja de aire desplaza el agua de la superficie sólida. Esto se puede entender a partir de un análisis de los aspectos termodinámicos del contacto de burbuja mineral (Wills, 2006). Nguyen, A (2013) indica que además de la química de flotación, la separación por flotación también requiere una buena comprensión de muchos otros aspectos físicos y de ingeniería, tales como la producción de burbujas finas de aire, una mezcla óptima en las celdas de flotación, y la cinética de flotación, define a la flotación como un proceso de separación por

adherencia de partículas hidrófobas (repelen al agua) a burbujas de aire que suben a la superficie y rebosan de la celda a la canaleta de concentrado. Las partículas hidrófilas (que atraen el agua) no se adhieren a las burbujas de aire y se mantienen en la celda para ser descargadas a través de la parte inferior de ella. Sostiene también que la flotación ha sido el caballo de batalla de la industria minera por más de 100 años y ha permitido la expansión en muchas otras áreas, incluyendo el destintado por flotación del papel de desecho para su reciclaje, la recuperación de suelos y tratamiento de aguas servidas. En otras palabras, el proceso de flotación se fundamenta en la química de superficies, la termodinámica de flotación y los productos químicos utilizados en la flotación de muchos minerales sulfuros y no sulfuros. Por tanto, es relevante la química de superficies y la química de la solución que incluyen el ángulo de contacto/hidrofobicidad, tiempo de inducción, las fuerzas de superficie, la dependencia Eh-pH y el control. Los productos químicos de flotación incluyen muchos tensoactivos usados para controlar las superficies sólidas (los colectores), la interface aire-agua (espumantes) y muchos otros productos químicos orgánicos e inorgánicos para activar y reprimir la flotabilidad de minerales; cuya aplicación incluye la flotación de sulfuros de metales base, flotación de minerales insolubles y semi-solubles y silicatos, y flotación de minerales

solubles, tales como silvita (KCl) importantes para la producción de fertilizantes y otros (Figura 28).

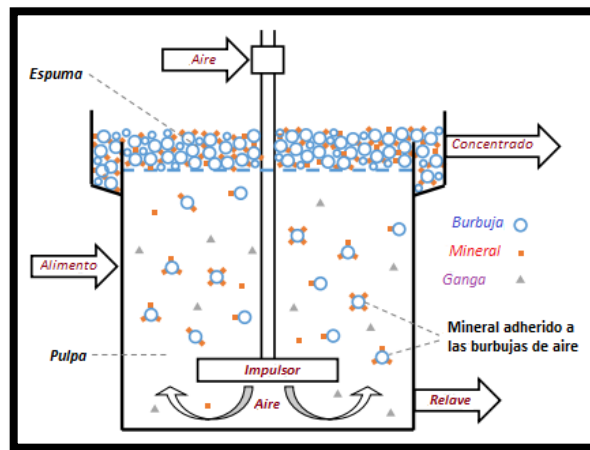


Figura 28. Esquema de una Celda de flotación.

Fuente: Adaptado de Kelly, 1982

La flotación de la espuma depende de la adhesión selectiva de burbujas de aire a las superficies minerales en una suspensión de mineral-agua. Las burbujas de aire se adherirán a partículas más hidrófobas. La unión de las burbujas a la superficie está determinada por las energías interfaciales entre las fases sólida, líquida y de aire. Esto se determina por la ecuación de Young-Dupré (Figura 29):

$$\gamma_{lv} \cos \theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad [1]$$

Donde:

$\gamma_{lv}$  = es la energía superficial de la interface líquido/vapor

$\gamma_{sv}$  = es la energía superficial de la interface sólido/vapor

$\gamma_{sl}$  = es la energía superficial de la interface sólido/líquido,

$\theta$  = es el ángulo de contacto, el ángulo formado en la unión entre el vapor, sólido, y las fases líquidas.

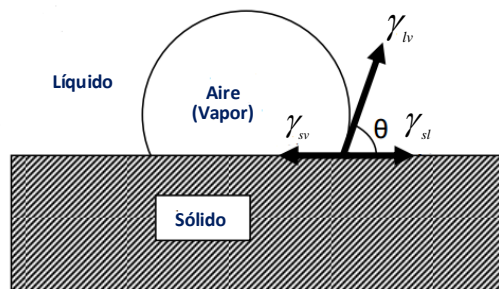


Figura 29. Esquema de la unión partícula-burbuja.  
Fuente: Wills, 2007.

Para la separación específica de los minerales puede modificarse su superficie químicamente con los colectores (Figura 30) de modo que sean más hidrófobos.

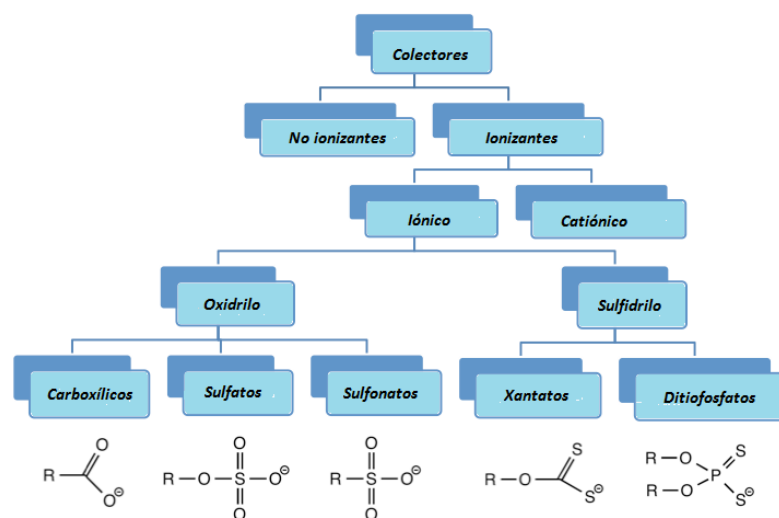


Figura 30. Clases Colectores de flotación de minerales.  
Fuente: Wills, 2007.

Los colectores son un tipo de surfactante que incrementa la hidrofobicidad natural de la superficie, aumentando la separabilidad de las partículas hidrofóbicas y las partículas hidrofílicas. Los colectores se unen químicamente a través de la quimisorción al mineral de valor o se adsorbe sobre la superficie la partícula a través de la fisisorción (Fuerstenau, 2003).

Es muy útil tener en cuenta tanto la ley y la recuperación de forma simultánea, utilizando una curva "Ley/Recuperación". Este es un gráfico de la recuperación del metal valioso versus la ley del producto recuperado, y es particularmente útil para comparar las separaciones donde tanto la ley y la recuperación son variables. Una serie de curvas de ley/recuperación se muestra en la Figura 31.

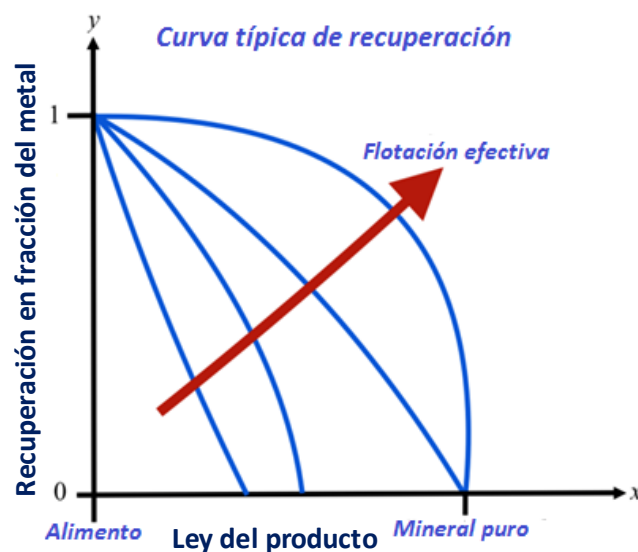


Figura 31. Forma típica de las curvas de Ley/Recuperación de flotación. Fuente: Kawatra, 2015, Wills, 2009)

Si el 100 % de la alimentación se recupera en el producto, entonces, el producto, obviamente, tendrá la misma composición que la del alimento, y por ende, la curva comienza a la composición de la alimentación con 100 % de recuperación (Kawatra, 2015).

Del mismo modo, si el grano de mineral más puro que contiene el metal de interés es separado, esta será la máxima ley que puede ser producida por una separación física, por lo que el extremo de recuperación 0 % de la curva termina en un ensayo menor o igual al ensayo de los granos más puros disponibles en el mineral. En los gráficos mostrados en la Figura 31, los puntos que son más altos y a la derecha muestran un mejor rendimiento que los puntos que son más bajos y a la izquierda (Kawatra, 2015).

## **11. Fundamento de la lixiviación de minerales**

La solubilidad de diferentes fases de cobre se ilustra en un diagrama de Pourbaix, que muestra la especie predominante como una función del pH y potencial redox (Eh). A partir de este diagrama, se puede observar que la disolución oxidativa de calcopirita en un medio ácido, se lleva a cabo a través de una transformación sólida en diferentes sulfuros primarios e intermedios ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ), cada vez más rica en cobre (Figura 32).

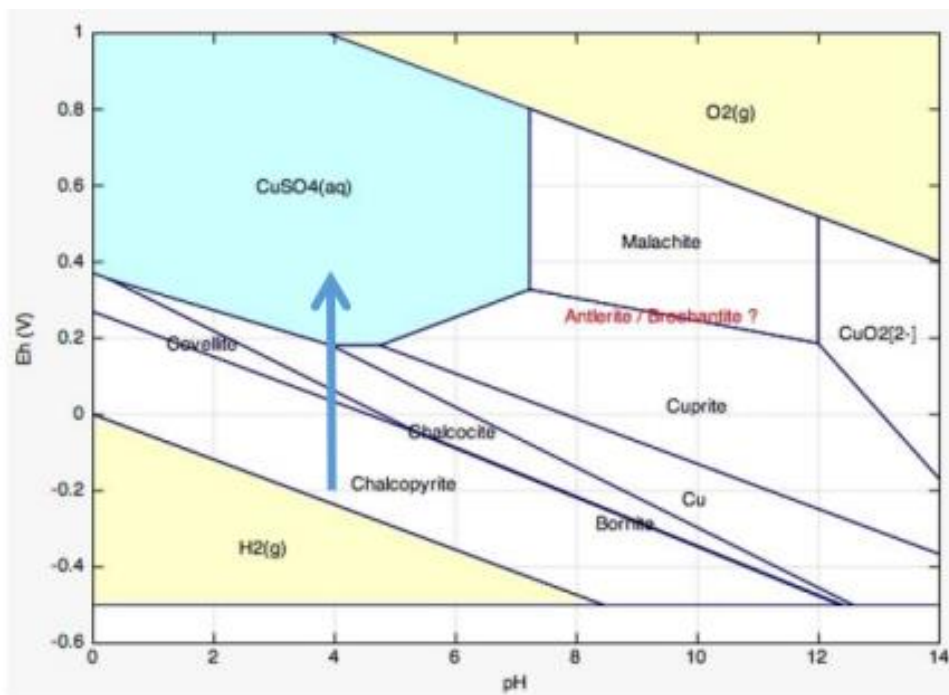


Figura 32. Diagrama de Pourbaix para el sistema  $\text{CuFeS}_2\text{-H}_2\text{O}$  a 25 °C. Fuente: Garrels and Christ, 1965.

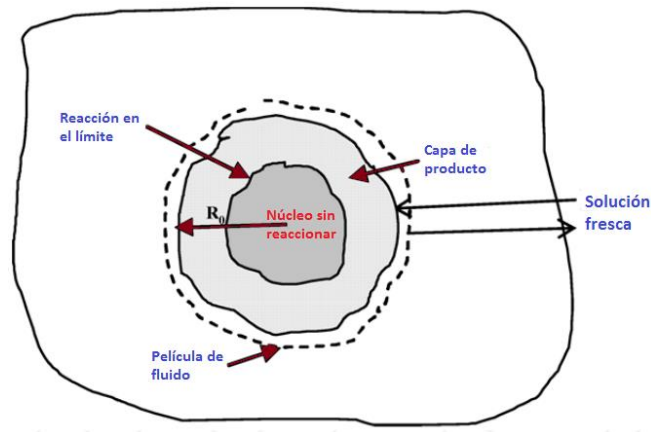
De acuerdo con el diagrama de Pourbaix (Figura 32) se requiere un  $\text{pH} = 4$  y  $+0,4 \text{ V}$  para disolver el cobre de calcopirita (área azul Figura 32). Debe tenerse en cuenta que el diagrama utiliza un concepto geoquímico y un equilibrio termodinámico instantáneo, el cual se asume para el cálculo del diagrama (van der Lee, 2008). Además, las condiciones de lixiviación no sólo deben ser favorables para la disolución de cobre, pero también deben minimizar la disolución de minerales de la ganga, la precipitación de minerales secundarios y posible pasivación del sulfuro mineral (Nicol et al 2010; Senanayake 2009).

Se utilizan varios lixiviantes acuosos para la lixiviación en minería, como también se usa varios procesos metalúrgico-extractivos incluyendo la lixiviación en pilas, la lixiviación en botadero y en valle, y la lixiviación *in-situ* (Hiskey 1994). Los tipos más comunes se agrupan como soluciones ácidas, alcalinas, sales oxidantes o medios bacteriales (Wang 2009; Sparrow y Woodcock 1995). El tipo de lixivante aplicado depende de factores tales como el mineral objetivo, composición de la roca a granel o bulk, oxígeno disuelto en el agua y de la temperatura. Será más difícil de controlar y predecir las condiciones a las que están expuestos los productos químicos en el método de disolución *in-situ*, en comparación con las condiciones en una planta de procesamiento utilizado para, por ejemplo, la lixiviación en tanque agitado. Para ilustración, en la lixiviación *in-situ* se consideran condiciones de 100 °C y 6 700 kPa a alrededor de 2 km de profundidad (Bell et al. 1995), en comparación con 25 °C y sin presión litostática en la superficie.

En base a la Figura 33, se evaluará la cinética de disolución de los sulfuros (modelo del núcleo sin reaccionar) dada por las siguientes expresiones matemáticas:

$$1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}} = k_1 t \rightarrow \text{Control químico, reacción de primer orden.}$$

$1 - \frac{2}{3}\alpha - (1 - \alpha)^{\frac{2}{3}} = k_2 t \rightarrow$  Control por difusión a través de un sólido poroso.



*Figura 33.* Esquema del proceso de lixiviación con núcleo sin reaccionar.  
Fuente: Adaptado de Levenspiel, 1976.

## 12. Derecho a la consulta previa a los pueblos indígenas u originarios

La Ley 29785 desarrolla el procedimiento del derecho a la consulta previa a los pueblos indígenas u originarios respecto a las medidas legislativas o administrativas que les afecten directamente. Se interpreta de conformidad con las obligaciones establecidas en el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), ratificado por el Estado peruano. Los pueblos indígenas u originarios deben ser consultados de forma previa sobre las medidas legislativas o administrativas que afecten directamente sus derechos colectivos, sobre su existencia física, identidad cultural, calidad de vida o desarrollo. También corresponde efectuar la

consulta respecto a los planes, programas y proyectos de desarrollo nacional y regional que afecten directamente estos derechos. La consulta a la que hace referencia esta Ley es implementada de forma obligatoria solo por el Estado. La finalidad de la consulta es alcanzar un acuerdo o consentimiento entre el Estado y los pueblos indígenas u originarios respecto a la medida legislativa o administrativa que les afecten directamente, a través de un diálogo intercultural que garantice su inclusión en los procesos de toma de decisión del Estado y la adopción de medidas respetuosas de sus derechos colectivos. El proceso de consulta tiene varias etapas que deben cumplir las entidades estatales promotoras de la medida legislativa o administrativa:

- a) Identificación de la medida legislativa o administrativa que debe ser objeto de consulta.
- b) Identificación de los pueblos indígenas u originarios a ser consultados.
- c) Publicidad de la medida legislativa o administrativa.
- d) Información sobre la medida legislativa o administrativa.
- e) Evaluación interna en las instituciones y organizaciones de los pueblos indígenas u originarios sobre la medida legislativa o administrativa que les afecten directamente.
- f) Proceso de diálogo entre representantes del Estado y representantes de los pueblos indígenas u originarios.

g) Decisión.

El acuerdo entre el Estado y los pueblos indígenas u originarios, como resultado del proceso de consulta, es de carácter obligatorio para ambas partes. Pero en caso de que no se alcance un acuerdo, corresponde a las entidades estatales adoptar todas las medidas que resulten necesarias para garantizar los derechos colectivos de los pueblos indígenas u originarios y los derechos a la vida, integridad y pleno desarrollo. Para concluir, cabe indicar que la ley de consulta previa no deroga o modifica las normas sobre el derecho a la participación ciudadana.

### **3.3. MARCO LEGAL**

El marco legal que involucra a este estudio de investigación es el que se menciona a continuación:

- Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Minero-metalúrgica (D.S. N° 016-93-EM): Obligación de contar con PAMA y EIA aprobados.
- Se establecieron los LMP para emisiones gaseosas minero-metalúrgicas (R.M. N° 315-96-EM/VMM).
- Establecimiento de los LMP para efluentes (R.M. N° 011-96-EM/VMM).
- Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera (D.S. N° 038-98-EM).

- Adecuación de la pequeña minería y minería artesanal (Ley N° 27651 y D.S. N° 013-2002-EM).
- Reglamento de Consulta y Participación Ciudadana en el Procedimiento de Aprobación de los Estudios Ambientales en el Sector Energía y Minas (Resolución Ministerial N° 596-2002-EM/DM).
- Ley que regula el cierre de minas (Ley 28090/minado subterráneo y a cielo abierto). Establece el Compromiso para el desarrollo sostenible de las actividades mineras.
- Ley que regula los pasivos ambientales (Ley 28271).
- Reglamento de cierre de minas (D.S. 033-2005-EM)).
- Reglamento de Pasivos Ambientales Mineros (D.S 059-2003-EM).
- Ley de Recursos Hídricos N° 29338.

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

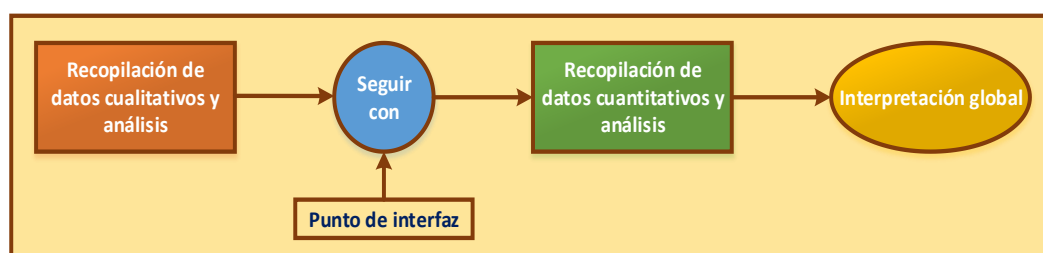
#### **4. Tipo del diseño de la investigación**

El tipo de investigación que se desarrolló es una investigación propositiva que se enmarca dentro del campo de la investigación mixta secuencial cualitativa-cuantitativa (exploratorio, experimental e interpretativo), porque se trata de explorar la situación de la minería en el contexto regional, particularmente en los pueblos altoandinos y analizar el rol de los principales actores para explicar los conflictos sociales que se están generando y proponer herramientas del orden de tecnología limpia y de diálogo.

Hernández, (2011) manifiesta que para Creswell y Plano Clark (2006), los métodos mixtos son una estrategia de investigación o metodología con la cual el investigador o la investigadora, recolecta, analiza y mezcla (integra o conecta) datos cuantitativos y cualitativos en un único estudio o un programa multifases de indagación. Tashakkori y Teddlie (2009 y 2003) señalan que los métodos mixtos constituyen una clase de diseños de

investigación, en la que se emplean las aproximaciones cuantitativa y cualitativa en el tipo de preguntas, métodos de investigación, recolección de datos, procedimientos de análisis e inferencias.

De acuerdo con Creswell y Plano (2007), las etapas de un diseño mixto exploratorio son: a) Etapa cualitativa (fase 1), en la cual se da la recolección, análisis y hallazgos para el desarrollo de un instrumento que formará parte de la b) Etapa cuantitativa (fase 2), en donde se generó una recolección, análisis y hallazgos con los cuales se dio la interpretación del fenómeno. Dado que el diseño comienza cualitativamente, se da mayor énfasis a menudo en los datos cualitativos. Tal y como se muestra en la Figura 34.



*Figura 34.* Esquema de investigación mixta secuencial.

Fuente: Adaptado de Creswell y Plano, 2007.

El primer momento en función de los objetivos planteados por esta tesis, se ocupó de analizar la percepción de los miembros de las comunidades altoandinas con respecto a la presencia de la minería en forma cualitativa, para evaluar el grado de responsabilidad social practicada

y su injerencia en el desarrollo sostenible de las comunidades altoandinas, donde están o se están posicionando las empresas mineras.

En tal sentido, bajo las consideraciones de los objetivos y el diseño de la investigación, se hace notar que se ha desarrollado en dos etapas:

1. Investigación cualitativa (fase 1) de carácter no experimental y exploratoria que tiene como variable independiente (V.I) a la aplicación de responsabilidad social empresarial (RSE) y como variable dependiente (V.D) al desarrollo sostenible de los pueblos altoandinos aledaños a la mina, que permita plantear soluciones para mantener su desarrollo sostenible cuando la mina cierre.
2. Investigación cuantitativa (fase 2) de carácter experimental que tiene como variable independiente (V.I) a la propuesta de procesamiento de minerales usando agua de mar sin desalinizar, y como variable dependiente (V.D), afianzar el desarrollo sostenible, con presencia de una minería responsable.

#### **4.1. Diseño del mecanismo de la investigación cualitativa, fase 1**

Al respecto, Gonzales (2006) indica que Huberman & M. Miles define a la metodología cualitativa como un proceso que se conforma de tres subprocesos comunes: “la recolección de datos, su presentación y la etapa

de conclusiones/verificación”<sup>2</sup>. Para Rodríguez (1999) dicha metodología “es un proceso que aborda cuatro fases fundamentales: La fase preparatoria, el trabajo de campo, la fase analítica y la fase informativa”<sup>3</sup>. Finalmente, Hernández Sampieri señala que “esta metodología consta de tres fases esenciales:” observar[...], pensar[...] y actuar[...], las cuales se dan de manera cíclica, una y otra vez, hasta que el problema es resuelto, el cambio se logra o la mejora se introduce satisfactoriamente[...].”<sup>4</sup>. Tomando como ejemplo a los autores anteriores, se puede definir a la metodología cualitativa como un proceso de investigación con diferentes fases, las mismas que abarcan la elección de la técnica de investigación, la compilación de datos, el procesamiento de los mismos y la comprobación de la hipótesis o hipótesis propuestas. Como este método se inicia con un acercamiento previo a las comunidades altoandinas impactadas por la explotación minera que va a ser objeto de análisis, se comienza con:

- i. **La fase exploratoria**, para investigar a través de dos acciones básicas:

---

<sup>2</sup> Huberman Michael y Matthew Miles. “Métodos para el manejo y el análisis de datos” en, Denman C y J.A Haro (comps.) Por los rincones. *Antología de métodos cualitativos en investigación social*. El colegio de Sonora, Universidad de Guadalajara, p.255.

<sup>3</sup> Rodríguez Gómez Gregorio. Et. Al. “Procesos y fases de la investigación cualitativa” en, Rodríguez Gómez Gregorio, Javier Gil Flores y Eduardo García Jiménez. *Metodología de la investigación cualitativa*, España, Ediciones Aljibe, 2ª Ed., 1999. p. 70.

<sup>4</sup> Hernández Sampieri. Op. Cit. P. 690.

- a) Revisar toda la documentación existente y disponible sobre dichas comunidades altoandinas.
  - b) Observar con antelación las comunidades altoandinas a investigar, y en ocasiones entrevistar a informantes clave.
- ii. **La fase de mapeo o mapping**, que consistió en situar el escenario a desarrollarse la investigación, donde se ha identificado a los posibles entrevistados de las áreas geográficas que se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Mapeo para la investigación*

Provincias	Tacna	Candarave	Tarata
Distritos		Candarave	Tarata
		Cairani	Estique
		Camilaca	Estique Pampa
		Curibaya	Chucatamani
		Huanuara	Susapaya
		Quilahuani	Tarucachi
			Ticaco
	Palca	Sitajara	

Fuente: Elaboración propia.

- iii. **La fase de muestreo**, que conlleva a la selección de los actores y lugares, el cual fue progresivo y de tipo discriminativo o conveniencia que pueda maximizar oportunidades para verificar el argumento construido.

Luego se ha procedido a buscar la información en diversas fuentes para evaluar la responsabilidad social empresarial (RSE) implementada por las empresas mineras frente a las comunidades y pueblos altoandinos de Tacna y los conflictos que se han producido entre el 2008 y 2015. En este punto se debe dejar claro que esta investigación no está dirigida a las empresas mineras Southern Peru – Toquepala y a MINSUR – Pucamarca, sino en forma general en donde exista minería establecida o por establecerse por cuencas, dándose el caso que al momento de realizarse el estudio se encontró que en la Cuenca Hidrográfica Locumba se desarrolla la mina Toquepala de propiedad de Southern Peru – Grupo México y entre las Cuencas Maure-Uchusuma y Caplina se encuentra en explotación la mina Pucamarca, de propiedad de MINSUR S.A. –Grupo Brescia (Hnos. Mario y Pedro Brescia Cafferata) pero a su vez se encuentra muchos petitorios que están intentando iniciar programas de exploración, tal como se ha mencionado en el capítulo I.

#### **4.2. Ejecución de la investigación cualitativa, fase 1**

Se opta por este tipo de investigación porque tiene la virtud de centrarse en la comprensión de una realidad, en este caso la aplicación de la responsabilidad social en favor de las comunidades altoandinas de Tacna, considerada desde sus aspectos particulares como fruto de un proceso histórico de construcción y vista a partir de la lógica y el sentir de

los miembros de cada comunidad, desde una perspectiva interna (subjetiva)<sup>5</sup> es decir, su percepción.

El instrumento que se ha empleado es la entrevista, no estructurada, a fin de no levantar falsos entendidos, y en un solo ciclo. Las entrevistas fueron tomadas de medios de comunicación masiva escrita y hablada, tal como se muestra a continuación.

**Sr. Alcalde Mario Copa (03 de marzo del 2008, Radio Uno)**

Anunció que las autoridades nacionales tienen 6 meses de tregua para atender los pedidos referentes a las compensaciones por sobreexplotación del recurso hídrico en manos de la transnacional Southern Copper, expuestas en una audiencia realizada en la capital de la república el 29 de febrero. Explicó ante el Congreso de la República, la Defensoría del Pueblo y representante del Ministerio de Energía y Minas y de la Presidencia del Consejo de Ministros un informe con los resultados obtenidos después de la Consulta Vecinal realizada el 17 de febrero en la provincia de Candarave donde el 92,5 % de ciudadanos se pronunció en contra de entregar nuevas concesiones y de autorizar a la Southern Perú Copper Corporation a seguir utilizando las aguas superficiales y subterráneas, en perjuicio de las actividades agrícolas. Dentro de los 15

---

<sup>5</sup> Pérez, G. (2001). Investigación cualitativa. Retos e interrogantes. Métodos. Madrid: La Muralla.

puntos del pliego de pedidos que realizó la provincia de Candarave por intermedio de su alcalde resaltan los seis primeros, que involucran la sobreexplotación de las aguas y contaminación de las mismas. Los pedidos son:

1. Se respete y se considere los resultados de la consulta vecinal de la provincia de Candarave considerando que el gobierno no muestra una voluntad de solución a los problemas pese a los memoriales presentados por anterioridad.
2. Southern Perú regularice y se pronuncie sobre los daños e impactos que está ocasionando.
3. Se revise y modifique las licencias de uso de agua por parte de la Southern para precisar caudales exactos para las minas de Toquepala y Cuajone con fines mineros y poblacionales.
4. Se permita la instalación de caudalímetros con el fin de controlar las aguas con fines mineros y evitar la sobreexplotación de las aguas en el marco de la Ordenanza Regional N° 015-2007.
5. La transferencia del proyecto Vizcachas a la Junta de Usuarios del Río de Candarave para mantenerlo como una reserva natural, pozos de agua que actualmente se encuentran bajo el Proyecto Especial Tacna (PET).

6. Sellado de los pozos TP3, TP5, TP8, TP9, TP14, TP15 y otros porque han impactado contra las nacientes del río Callazas al encontrarse a escasos metros de las nacientes.

Asimismo, la delegación candaraveña mostró datos estadísticos de la Dirección Regional de Agricultura de Tacna, en los que se vio reflejada la pérdida de más de 400 millones de soles en la provincia como efecto de la disminución de la producción de alfalfa en un 60 % (de 30 mil kg a 11 200 kg); la de ajo en un 50 %, y la producción de orégano disminuyó a un 25 % (de 16 000 kg a 4 000 kg).

Manifestó que se contó con el apoyo de la titular de la Defensoría del Pueblo, Beatriz Merino y que se ha establecido al 11 marzo como fecha en la que junto a la Presidencia del Consejo de Ministros se definirá la agenda de trabajo donde se va a exponer las exigencias que Candarave tiene en cuanto a las compensaciones por sobreexplotación además de la sustentación de un informe sobre cómo viene afectando la actividad minera a la provincia. También se programó una visita del representante del Ministerio de Energía y Minas para fines de marzo a la provincia de Candarave con todos los representantes técnicos tanto del Ministerio de Agricultura como de Energía y Minas.

**Sr. Alcalde Mario Copa Conde (04 de agosto del 2008, Radio Uno)**

Lanzó una advertencia a la transnacional minera Southern Perú. Manifestó que de no cumplir con los justos petitorios del pueblo candaraveño, las organizaciones y los habitantes de a pie se verán obligados a cortar el suministro de agua para las minas de Toquepala y Cuajone. "Ellos nos están provocando a cerrar los pozos si no dan solución a los problemas generados por la sobreexplotación de nuestra cuenca, queremos que se den inversiones de envergadura, no que regalen 100 o 200 bolsas de cemento como suelen dar a los pobres campesinos, o que cerquen el perímetro de colegios, para que luego se llenen la boca diciendo en Lima y a nivel nacional que han construido grandes instituciones educativas en Candarave, eso es mentira". Entre las razones que provocaron la reacción de la población candaraveña, están que en las últimas reuniones sostenidas entre sus autoridades civiles, el Ministerio de Energía y Minas y la minera Southern Cooper, no se ha tomado ningún preacuerdo sobre propuestas de resarcimiento por el daño causado a toda la zona andina desde la instalación de Toquepala y Cuajone, ni sobre fuentes alternativas de recurso hídrico. Además, el ampuloso despliegue policial del fin de mes pasado dejó una sensación de intimidación en la mayoría de moradores de dicha provincia serrana, quienes libremente propusieron la radical medida de suprimir el abastecimiento de agua a la mina. En este sentido, rechazó

las publicaciones pagadas por la Southern que lo sindicaron como el azuzador de una campaña *violentista*. "No son sectores que promueven el malestar, es todo el pueblo, pero no tomaremos medidas aún, sólo estamos esperando que se manifieste su buena voluntad". "Si la empresa tiene la intención de invertir que lo haga, pero de buena manera, en represas, carreteras, proyectos que signifiquen el desarrollo de Candarave, proyectos que sean de importancia (...) es una desconsideración tremenda la que sufrimos, creemos que la empresa no está actuando en cuanto a los intereses de la provincia, más bien se ha acostumbrado a irse contra autoridades para crear un resentimiento", acotó. De otro lado, informó que la frustrada reunión pasada se ha suspendido para el 10 de agosto, fecha en la que esperan una respuesta a las interrogantes planteadas en la junta pasada. "Nos basamos en dos cosas, cómo es que van a reparar el daño hecho y hasta cuándo se van a llevar las aguas de Candarave, porque esto no puede seguir sucediendo (...) han dicho que se conformará una comisión técnica para ver el caso, pero no la queremos, para qué más técnicos, lo que pasa en Candarave está a la vista, necesitamos asfaltado de carreteras y darles un año más de agua, obligándolos a que reutilicen el agua de los relaves y el agua del mar", culminó.

**Sr. Mario Copa Conde (18 de agosto de 2009) (fuente Radio Uno)**

Como burgomaestre de Candarave indicó que su comunidad tiene que batallar contra su principal enemigo. "El enemigo más grande que tenemos en Candarave es la empresa Southern Perú, la que hasta el momento no ha hecho en Candarave ninguna inversión de envergadura, el pueblo no lo reconoce". Señaló que no cesarán en su lucha para que los pozos de Huaytire y Viscachas, que alimentan a la minera Southern Perú, sean cerrados. Dijo que "Como candaraveños queremos que se cierren los pozos de Huaytire y Viscachas para de esta manera evitar los colapsos y que se sigan secando nuestros manantiales, los bofedales, porque realmente se corre el gran riesgo de que Candarave se quede desertificada".

**Ing. Nora Melchor Cohaila (07 de Febrero del 2010, DIARIO CORREO)**

Bueno, es natural que los representantes de la empresa Minsur traten de minimizar cualquier denuncia sobre contaminación, pero la verdad es que ellos no cuentan con la licencia social que propusimos se lleve a través de la consulta popular que es la voz del pueblo. El Estudio de Impacto Ambiental de Minsur es de escritorio y fue rebatido dos veces por la Dirección General de Asuntos Ambientales, donde dijeron que el proyecto es insostenible porque el canal del Uchusuma es la única fuente

de agua de Tacna y puede ser contaminado y porque está sobre roca fracturada y hay filtraciones que llegan hasta La Yarada.

**Sr. Daniel Paniagua Laqui (16-02-2011).**

Manifestó que es natural de Pallata y que se estableció en Candarave, trabajando como agricultor. Él fue capacitado por Southern y ahora gracias a esa capacitación es capacitador social agropecuario en Candarave, por lo que se siente muy contento.

**Sr. José Horacio Villalobos Sumire (16-02-2011)**

Indicó que es natural de la zona y se encuentra trabajando en todo que es canales para riego menor y para riego mayor, en Camilaca, Santa Cruz, Huanuara, también ha trabajado en orégano y avena, por lo que estaba muy contento porque la empresa Southern tiene bastante voluntad de apoyar a todos los pueblos de Candarave. Se desempeña como capacitador social agropecuario. Manifiesta además que la Empresa sabe valorar a las personas del lugar.

**Sr. Lorenzo Vargas Laura (16-02-2011)**

Manifiesta muy orondo que es el gobernador de Candarave y tiene el honor de representar al Sr, Presidente de la Republica Dr. Alan García Pérez, manifiesta que fue quien consiguió la ayuda de la minería, es por

ello que la Empresa Southern está trabajando en forma directa con todos los pueblos de su jurisdicción con el aporte voluntario que está generando desarrollo. Indica también que nadie está en favor ni en contra de la minería.

**Sr. Orestes Capacuti Banegas (16-02-2011)**

Manifestó que es natural de Huaitire, es criador de camélidos sudamericanos. Ya hace 4 años que empezó la crianza y ya cuenta con 1000 crías hembras de alpacas y ya ha participado en concursos ocupando el segundo lugar en Tacna y todo ello gracias a la capacitación en crianza y sanidad de su ganado por parte de la Southern Peru, ahora puede vender lana de buena fibra y carne a mejor precio. Hace un llamado a que no dependan de la ayuda de la empresa minera solamente sino del esfuerzo de cada uno.

**Sr. Profesor Luis Cahuana (16-02-2011) Alcalde distrital de Quilahuani**

Manifestó que lo que más le preocupa es la salud por cuanto tienen ambientes muy precarios y el pueblo pedía algo mejor y con el aporte voluntario de Southern ha podido construir un mini hospital completamente equipado y el pueblo está muy contento. También está gestionando ayuda para contar con forraje. Otra obra que está empeñado en realizar es el de las aguas residuales, que con el aporte solidario, foncodes y otras

instituciones del Estado lo va a lograr haciendo alianzas estratégicas y envía un mensaje a todos los municipios que cuentan con este aporte voluntario minero lo gestionen adecuadamente porque genera desarrollo y porque se trabaja directamente con la empresa, porque lo que pagan al estado generalmente nunca llega y se va a cualquier parte.

**Sr. Valeriano Tarqui Quispe (16-02-2011) Presidente de la comunidad de Quilahuani**

Manifestó que con el apoyo de Southern ahora cuentan con equipamiento para la confección de sombreros de lana de alpaca de mejor calidad. Él y su comunidad se encuentran muy contentos por la ayuda que han recibido de la empresa.

**Sr. Buenaventura Capacuti Vanegas (17-02-2011) Ganadero**

Manifestó que es un beneficiario del aporte voluntario de la empresa minera Shouthern Peru, con cuya ayuda en capacitación y otros, está fortaleciendo su capacidad de producción como ganadero de alpacas, tanto en mejor fibra de la lana de alpaca y carne. Está muy agradecido a la Empresa minera.

**Sr Manuel Yarlaqué (21-11-2011, Radio Uno)**

El gerente general del Gobierno Regional de Tacna, Manuel Yarlaqué, manifestó, “Esta no ha sido una audiencia pública. Ha sido con personal seleccionado y pagado, sus propios trabajadores. Es un abuso lo que están haciendo. Inclusive cuando traté de ingresar al estrado oficial, había un cordón de matones que no me dejaron entrar, me han empujado, me han pateado”.

**Sr. Congresista Juan Pari (27-11-2011, Correo)**

El congresista por Tacna, Juan Pari, propuso cuatro puntos para la Mesa de Diálogo sobre gestión del agua e inversiones mineras en Tacna, que convocaría más adelante el Ministerio de Energía y Minas y la Presidencia del Consejo de Ministros. La Mesa de Diálogo a la que el congresista Juan Pari hace referencia, es un compromiso que habría asumido el Ministerio de Energía y Minas y de la Presidencia del Consejo de Ministros. Esta Mesa de Diálogo tendría por objetivo el consensuar los puntos de vista de los distintos actores que están implicados, como son: la población, el Gobierno, Southern, entre otros: El agotamiento de las fuentes de agua, Contaminación de aguas y suelos, Mal uso energético del agua y, Deterioro de la agricultura y ganadería. “La primera prioridad del agua es el consumo humano, luego para la agricultura y así otras. El sector minero no

está incluido entre las prioridades, según indica la propia ley”, aseveró el congresista del Partido Nacionalista por Tacna, Juan Pari. Indicó además que el agua es un recurso que debe ser cuidado no sólo por la población, sino también por el Gobierno. Por ello, la Mesa de Diálogo que prontamente se llevará a cabo espera poder concretar las distintas opiniones y posturas que puedan tener los partícipes y relacionados al recurso hídrico de la heroica ciudad de Tacna. Pari indicó además que los conflictos de la gente hay que enfrentarlos, caso contrario generan malas consecuencias para la población. Se ha pedido al Presidente del Gobierno Regional que indique cuándo se instalará la Mesa de Diálogo, detalló Juan Pari. El Ejecutivo haría eco de la propuesta de Tacna, aceptándola. Esta oportunidad para Tacna debería tener puntos ya definidos en el espacio regional, para llegar a solucionar la problemática del agua y la minería en Tacna.

**Sr. Gerardo Marón Conde. Alcalde de Candarave (05-11-2012)**

Como alcalde de Candarave, informó que utilizando cargadores frontales retornarán el agua a su cauce natural para que converja con el río Callazas y beneficie a los ganaderos de Candarave. “Son entre 30 a 100 L/s que son de vital importancia”.

**Sr. Gonzalo Quijandría, Director de Asuntos Corporativos de MINSUR  
(6 de marzo de 2015, MINERÍA & ENERGÍA)**

Comenta que actualmente hay un “ruido innecesario” e injusto contra la minería, un sector generador de desarrollo en nuestro país. “Hoy en día existe una minería cero impacto como es el caso de Pucamarca, en Tacna”, afirma. Siempre se debe invertir en responsabilidad social así lo hacen los países más desarrollados cuando ejecutan un proyecto de inversión porque necesariamente se impacta en la vida de las personas y tienen que percibir que este impacto tiene alguna compensación, más allá de los beneficios indirectos que vienen por el desarrollo de la operación minera. Además, tiene que haber una inversión directa en las poblaciones aledañas como parte de la buena relación que debe existir entre la empresa y las comunidades. Cualquier compañía sería lo sabe, mejor es hablar con la población, saber sus necesidades, temores y así se les puede ayudar.

**Sr. Alcalde Juan Quispe Mamani (28 de mayo del 2015, Radio Uno)**

Informó que durante la asamblea realizada el pasado lunes, acordaron paralizar los estudios hidrológicos e hidrogeológicos que llevaba adelante el *consorcio Río Locumba*, seleccionado y contratado por la compañía minera Southern Perú. Manifestó: “El lunes tuvimos una reunión en el local de la municipalidad entre todos los comités de usuarios y los

alcaldes distritales, entonces se ha analizado y como acuerdo se va a paralizar y se va esperar que nos informen sobre los avances y posteriormente tomaremos decisiones claras, ese es el acuerdo”. Detalló que la medida fue tomada luego que varios usuarios expresaran su inconformidad frente a los aforos que realizó el *consorcio Río Locumba* en el sector denominado pampa de vaca. Y es que la referida empresa determinó que el volumen de agua que iba hacia Toquepala era de 818 L/s pero, ante la intervención del gerente de Recursos Hídricos de Southern Peru, Nicolás de Piérola, inexplicablemente bajaron la cifra a 568 L/s.

#### **4.2.1. Análisis de las entrevistas de la fase 1**

La responsabilidad social empresarial de las mineras está implementada por las empresas mineras que operan en la zona altoandina de Tacna y está contribuyendo al desarrollo sostenible de algunas comunidades y pueblos altoandinos, pero la ausencia del Estado quien tiene la obligación de su desarrollo, no lo viene haciendo, y este abandono a la buena acción filantrópica de las mineras, está generando un estado de alerta de detonar en cualquier momento conflictos sociales debido a que existe descontentos y desencuentros en estas comunidades altoandinas dado que en estos últimos años, estos programas vienen propiciando una especie de división entre las mismas comunidades, lo cual imposibilita un

desarrollo sostenible homogéneo de todos los pueblos y comunidades altoandinas y ello conlleva a los conflictos sociales que se agudizan por la inadecuada gestión y distribución del agua superficial y subterránea, debido a la débil gestión de cuencas practicada por la autoridad del agua. Este hecho aunado a las sequías o poca precipitación fluvial, está propiciando un estrés hídrico, cuyo resultado es la sequía o agotamiento de las fuentes naturales de agua como los bofedales y por ende los pastizales y áreas agrícolas. Este fenómeno debe ser enfrentado por la triada Estado-Empresa minera- Comunidades altoandinas, para garantizar y fortalecer su desarrollo sostenible en forma equitativa.

#### **4.2.2. Interpretación de la investigación de la fase 1**

Se concluye en esta primera fase, a diferencia de otras zonas mineras del país, es el agua el problema en el que giran los demás problemas desde los culturales, económicos, educación, alimentación, salud y de infraestructura, que están siendo atendidas parcialmente por la implementación de la RSE de la minería. Este resultado permite continuar con la segunda fase de la presente tesis, la investigación cuantitativa, enmarcada en una propuesta técnica de resolver el problema de la escasez del agua que se agudizará cada año debido al cambio climático del cual ya no se puede escapar, sino enfrentarlo para por lo menos mantener la

sostenibilidad del desarrollo de los pueblos altoandinos de Tacna, conviviendo con una minería responsable y no paternalista, que comparta la riqueza con estos pueblos y comunidades altoandinas y una presencia real del Estado, que garantice y fortalezca su desarrollo sostenible a través de programas de desarrollo conjuntos.

#### **4.3. Ejecución de la investigación cuantitativa, fase 2**

En el entendido de que la ciencia de los minerales está estrechamente relacionada con las ciencias ambientales, donde la primera está buscando tecnologías limpias para extraer los minerales metálicos y no metálicos y la segunda actuando como aseguradora y controladora del cuidado del medio ambiente y desarrollo sustentable de esta industria, que permita del desarrollo sostenible de la sociedad donde ésta se lleva acabo, con una clara observancia de la responsabilidad ambiental y la responsabilidad social empresarial, no filantrópica ni paternalista.

Esta segunda fase de la investigación mixta se caracteriza por presentar dos propuestas que conlleven a mitigar los conflictos por el agua, que socialmente es el problema de vida o muerte de los pueblos y comunidades altoandinas de la región Tacna. Estas son:

- A. Concentración de minerales por flotación de espumas en agua de mar sin desalinizar.

B. Lixiviación de minerales sulfuros de cobre con sales oxidantes utilizando agua de mar.

#### **4.3.1. Propuesta de Flotación de sulfuros en agua de mar**

Dada la escasez que cada año se hace más crítica de agua dulce en esta parte sur de Perú, por ser cabecera del desierto de Atacama y del cambio climático que viene produciendo grandes cambios en la precipitación en los andes. Ante esta crítica situación, surge la necesidad de buscar otras fuentes de agua, como lo es el agua de mar para llevar a cabo los procesos metalúrgicos, debido a que la actividad extractiva de minerales y metales precisa de un insumo importante al agua. Este hecho está ocasionando fuertes alteraciones en las fuentes naturales y que deben ser controlados. El proceso de flotación en el agua de mar es muy complejo y de múltiples facetas, en el que la química es muy diferente a la del agua pura o potable. El alto ambiente salino comprime las capas eléctricas dobles resultantes en (i) la mejora de la flotabilidad para las superficies que ya son hidrofóbicas; (ii) la mitigación de los revestimientos de limo; (iii) aumento del arrastre; (iv) la reducción del tamaño de las burbujas; y (v) mejor estabilidad espumas. Paralelamente, los iones secundarios presentes en el agua de mar causan una precipitación coloidal y un fuerte efecto tampón, que dificulta la operación en condiciones de alta alcalinidad.

Esta propuesta se basa en los conocimientos actuales sobre el tema de los procesos de flotación en agua de mar, destacando la flotación de minerales de sulfuro de cobre. Se incluye una descripción de los mecanismos subyacentes de flotación afectadas por la presencia de agua de mar tomando en cuenta las operaciones de flotación industriales que a la fecha existen en el mundo. Del mismo modo, a partir de los datos disponibles sobre los procesos de flotación de sulfuros industriales, se hace hincapié lo siguiente:

- (1) Para cada mineral, hay una diferencia significativa entre las cinéticas de flotación de los sulfuros valiosos, sulfuros de ganga, y ganga no sulfuro de cada yacimiento.
- (2) Para cada una existe una similitud entre las cinéticas de recuperación de la ganga no sulfuro y agua.
- (3) A pesar de los minerales de sulfuro, hay una dependencia de la cinética de recuperación sobre la tasa de recuperación de agua para ser reciclada.

Para comenzar la parte experimental de la flotación de minerales sulfuro de Cu-Mo (Figura 35), se han realizado algunas pruebas de sondeo, para seleccionar las constantes y variables experimentales, en base a la literatura existente, con las cuales se ha determinado el valor de las constantes experimentales y el rango de las variables experimentales.



*Figura 35.* Esquema del sistema experimental.

Fuente: Elaboración propia.

### ➤ **Muestra de mineral y agua de mar**

El mineral que se ha empleado para este trabajo de investigación proviene de la mina Toquepala de Southern Peru y del yacimiento Caplina, de los cuales se ha hecho una mezcla (blending) de 80 % de Toquepala y 20 % de Caplina, a fin de contar con una mena Cu-Mo calcopirítica con una pequeña cantidad de sulfuros secundarios y óxido de cobre.

El agua se tomó a aproximadamente a 150 m mar adentro de la playa Vila Vila. El pH se fijó en 9,0 (8,8 – 9), de acuerdo a la Figura 36, para evitar de que la molibdenita sea deprimida por el magnesio. Para subir el pH de la pulpa de flotación con una densidad de 35 % de sólidos, se utilizó cal hidratada o muerta.

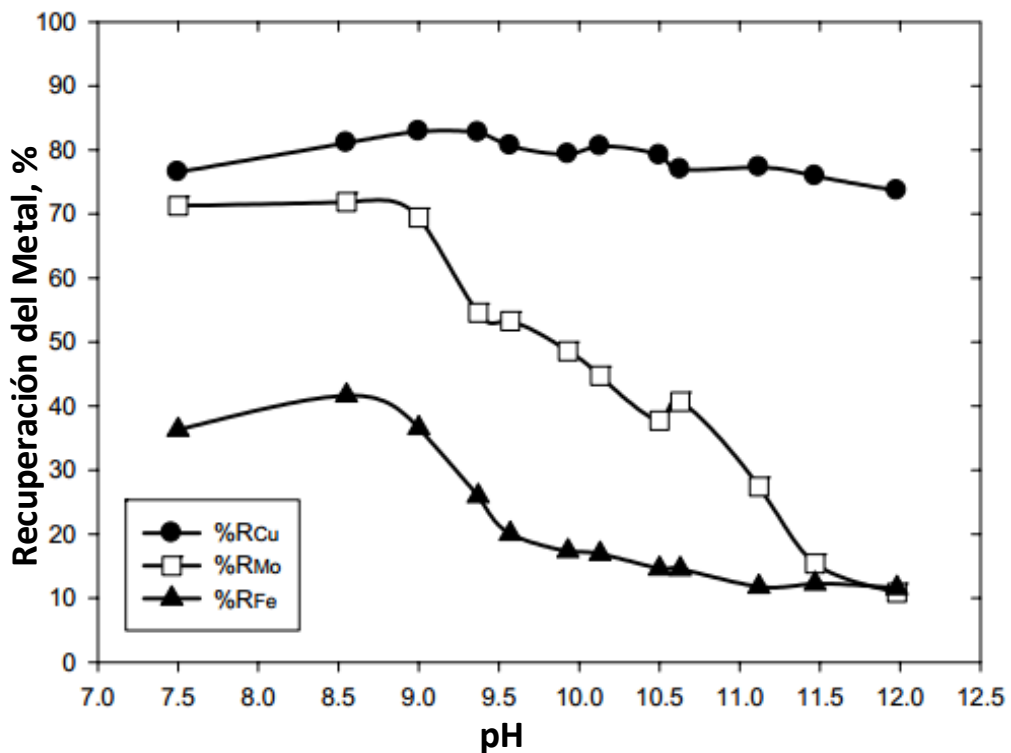


Figura 36. Recuperación Desbaste de Cu, Mo y Fe en función del pH en agua de mar.

Fuente: Laskowski, Castro y Ramos, 2010 – 2013.

Para determinación del tiempo de molienda, de las muestras ya preparadas se tomó cuatro muestras con un peso de 1000 g y fueron molidas a un 65 % de sólidos en peso manteniendo el molino de bolas a 75 revoluciones por minuto. Los tiempos de molienda ensayados en la serie de pruebas fueron de 5; 10; 15 y 20 minutos.

Luego de realizadas las operaciones de filtrado y secado se pasó por la malla de control que en este caso fue la malla +m70 ASTM.

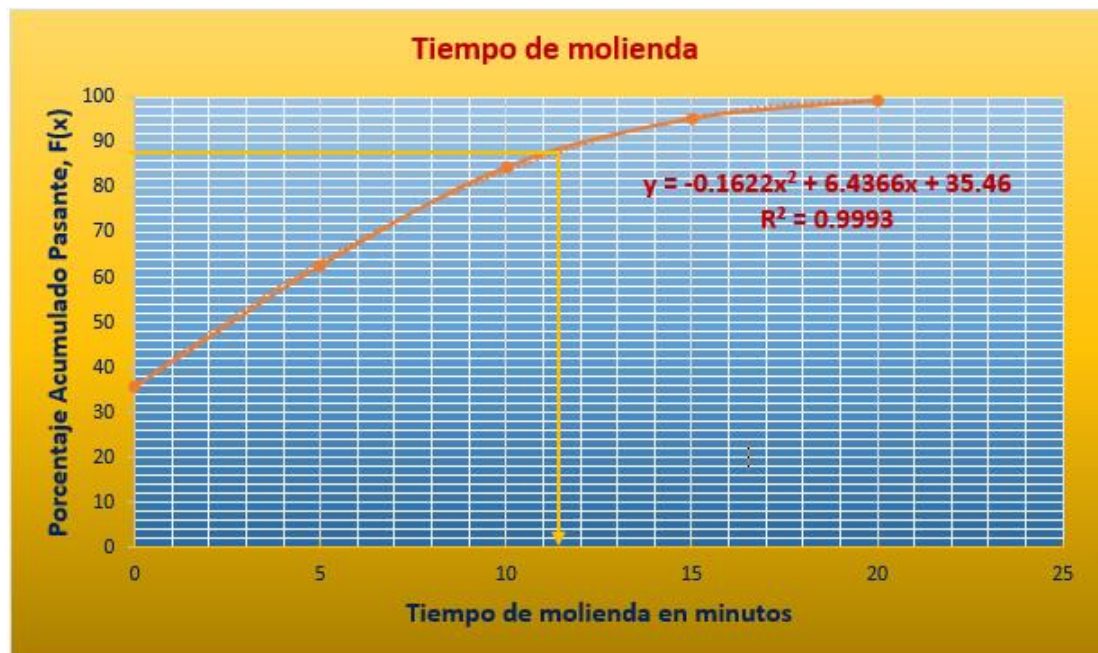
Los resultados se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Determinación del tiempo de molienda*

Tiempo molienda, minutos	F(x) (-m70 ASTM)
0	35,78
5	62,65
10	84,50
15	95,26
20	99,29

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 37.* Diagrama para determinar el tiempo de molienda.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la Figura 37 se puede calcular que la malla de control corresponde a un 12 % +m70 para un tiempo de 11,4 minutos.

Los reactivos de flotación fueron proporcionados por WIING, empresa peruana-australiana, cuyo set se muestra en la Figura 38.



*Figura 38.* Set de reactivos colectores y espumantes WIING.

Fuente: <http://www.wiinglobal.com/home.aspx?country=PE>

El estudio de flotación de sulfuros calcopirítricos con reactivos wiing en agua de mar sin desalinizar se efectuó mediante un diseño estadístico factorial  $N = 2^k$ , donde  $N$  es el número de pruebas y  $k$  es el número de variables.

Se ha utilizado dos colectores: AZ-W3500 y AZ-W3000 ambos xantoforiatos líquidos, y dos espumantes JR-W19 y JR-W07, ambos mezcla de poliglicoles.

En la Tabla 9 se da los símbolos y niveles utilizados en el diseño factorial completo.

**Tabla 9***Variables, símbolos y niveles en el diseño factorial completo*

Variable	Símbolo	Contenido en g/t		
		Bajo	Centro	Alto
		-1	0	+1
AZ-W 3500	X <sub>1</sub>	10	20	30
AZ-W 3000	X <sub>2</sub>	8	18	28
JR-W 19	X <sub>3</sub>	2	5	8
JR-W 07	X <sub>4</sub>	5	10	15

Fuente: Elaboración propia.

Variables respuesta:

Y<sub>1</sub> = % de recuperación de Cu.Y<sub>2</sub> = Ley de cobre (Variable restrictiva).

El análisis químico de la muestra representativa en este trabajo de investigación se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10***Análisis químico de la muestra*

% Cu	% Cu(ox)	% Fe	% Mo
0,65	0,05	3,4	0,028

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Material y equipos**

Para la realización de esta investigación se emplearon los siguientes materiales y equipos:

1. Un kilogramo de cal hidratada.
2. Ácido Clorhídrico.
3. Reactivos de flotación.
4. Una chancadora de quijada.
5. Un molino de bolas.
6. Una celda de flotación Tipo Denver D-12.
7. Un Ro Tap.
8. Un set de mallas.
9. Un muestreador rotatorio tipo carrusel.

➤ **Constantes experimentales**

Peso de muestra	= 2 850 g.
Tiempo de molienda	= 11,5 minutos.
Gravedad específica del mineral	= 2,71.
Malla de control de molienda	= 12 % +m70.
Densidad de pulpa (molienda)	= 65 % de sólidos en peso.
pH de flotación	= 9,0.

Acondicionamiento	= 5 minutos (4 min. Colectores).
Tiempo de flotación	= 16 minutos.
Velocidad del impulsor	= 1 200 RPM.
Densidad de pulpa (flotación)	= 34 % de sólidos en peso.

Las pruebas de flotación se han realizado como desbaste (Rougher), tipo flotación a muerte cuyo fin fue medir la recuperación de los metales valiosos como sulfuros de cobre y molibdeno, dichas pruebas de flotación se han llevado a cabo de acuerdo al diagrama de flujo que se muestra a continuación (Figura 39).

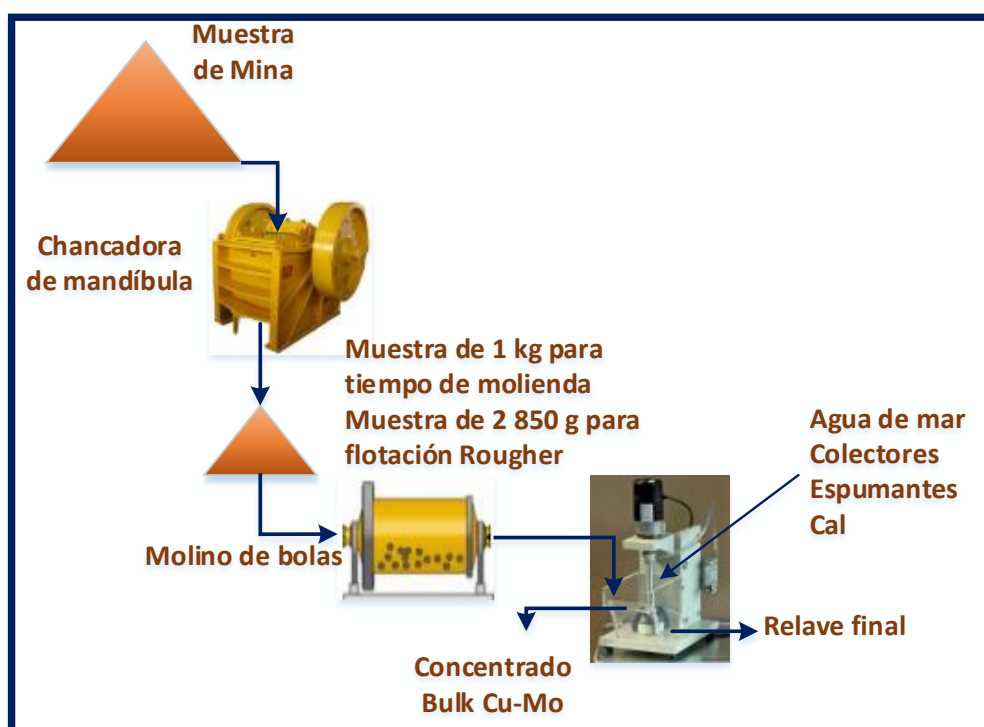


Figura 39. Esquema experimental de chancado, molienda y flotación.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Evaluación del Proceso de flotación de desbaste en función del Cu**

La recuperación de los minerales valiosos de cobre y molibdeno a partir de las pruebas experimentales de flotación fue evaluada teniendo en cuenta las siguientes relaciones matemáticas:

$$R_M(\%) = \frac{C}{F} * 100 \quad (\text{Recuperación en peso}) \quad [4]$$

$$I = \frac{c}{f} \quad (\text{Factor de enriquecimiento}) \quad [5]$$

$$R = \frac{c * C}{f * F} * 100 = R_M * I \quad (\text{Recuperación del valioso}) \quad [6]$$

Donde:

c, f y t = Leyes de Cu en alimento, concentrado y relave.

$R_M$  = Recuperación en peso.

I = Factor de enriquecimiento.

F, C, y T = Son los pesos de alimento, concentrado y relave respectivamente.

La cinética de flotación fue evaluada utilizando el modelo de Agar & Barret, definida por la siguiente expresión matemática:

$$R_M = R_\infty (e^{-k(t+\varphi)}) \quad [7]$$

#### **4.3.2. Lixiviación de sulfuros de cobre con sales y agua de mar**

Como es sabido, a la hidrometalurgia, desde el punto de vista tecnológico le corresponde extraer los metales desde los minerales que los contienen, mediante medios físicos y químicos en un medio acuoso y generalmente se desarrolla en tres etapas fisicoquímicas distintas y secuenciales:

- ✓ Disolución selectiva de los metales desde los minerales sólidos mediante una solución acuosa (lixiviación).
- ✓ Procesamiento y transformación de los metales disueltos en el medio acuoso mediante agentes orgánicos que permitan la purificación y concentración de estos metales en solución acuosa (extracción por solventes, SX).
- ✓ Recuperación selectiva de los valores metálicos disueltos en el medio acuoso y paso de corriente (Electrodeposición, EW), en la que se obtiene el metal sólido puro.

La lixiviación, también llamada disolución selectiva, es un proceso metalúrgico donde interviene un mineral sólido de origen, un agente lixivante (disolvente) que normalmente está disuelto en la solución acuosa y ocasionalmente un agente externo que actúa como oxidante o reductor y

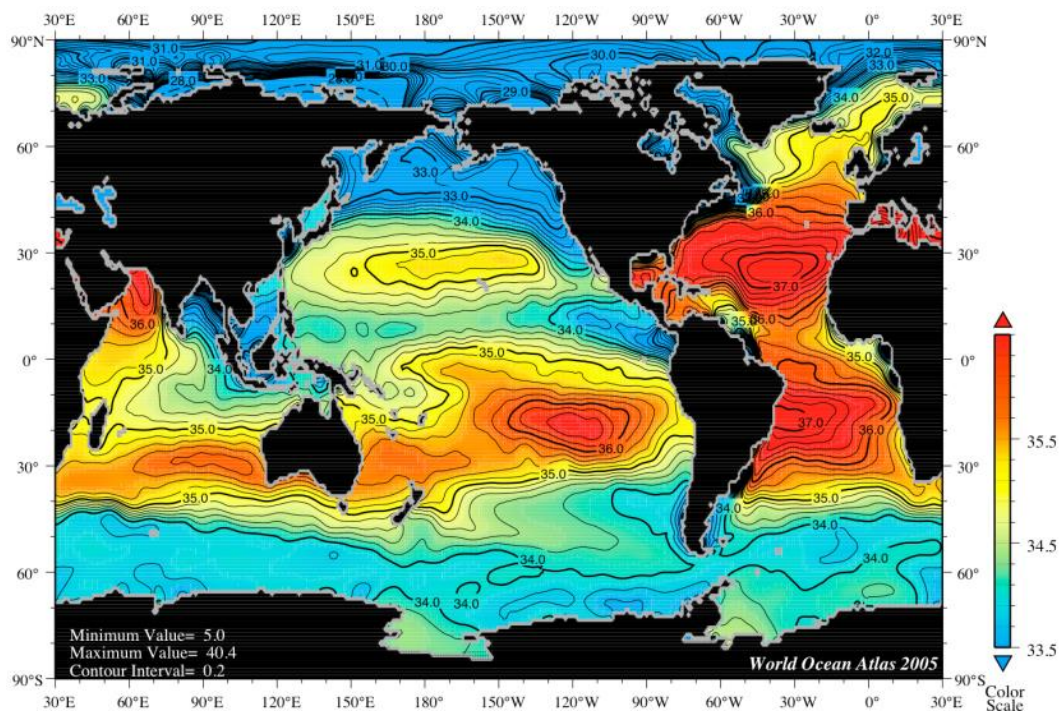
participa en la disolución del metal de interés mediante un cambio en los potenciales de óxido-reducción (potencial redox) de la solución lixiviante.

Para acelerar y optimizar la cinética de disolución, se ha procedido a aplicar algunas de estas variables: uso de diferentes reactivos o variación de su concentración, incorporación de agitación cuando sea necesario, introducir el efecto de temperatura y presión cuando sea posible y necesario. La variable tiempo (duración de un proceso) es un factor decisivo al momento de selección de un método de lixiviación al igual que la elección del tamaño de partícula mineral a utilizar.

#### ➤ **Características del agua de mar**

El agua de mar, como se ha dicho anteriormente, puede ser usada en dos modalidades principales: en forma directa, como agua de mar cruda sin alterar su salinidad natural, como ya lo hacen algunas compañías mineras; y procesada, usualmente mediante osmosis inversa para eliminar parte o prácticamente todas las sales. La salinidad es una variable importante del agua de mar y que hace que requiera de un estudio especial el cual no se abordará en este estudio. La salinidad del mar en el mundo no es igual en todas partes de los mares y océanos. A ello contribuyen diferentes factores tales como el derretimiento de las masas de hielo de los polos, la desembocadura de los ríos, la propia evaporación, la lluvia, las

nevadas, el viento, el movimiento de las olas y las corrientes marinas. Se considera que la mayoría del agua contenida en los mares y océanos contiene, como promedio, un 3,5 % de sal (35 g/L), así como otros minerales disueltos. Según Doumenge (1965) el agua de mar se define por su salinidad comprendida por lo general entre 34,00 y 35,00 ups. La salinidad puede variar en proporciones muy pequeñas en los océanos propiamente dichos, en cambio puede variar a veces muy sensiblemente en los mares costeros. Estas variaciones se pueden observar en la Figura 40, su composición promedio determinada se da en la Tabla 11.



*Figura 40.* Salinidad anual [ups] en la superficie.

Fuente: World Ocean Atlas, 2005.

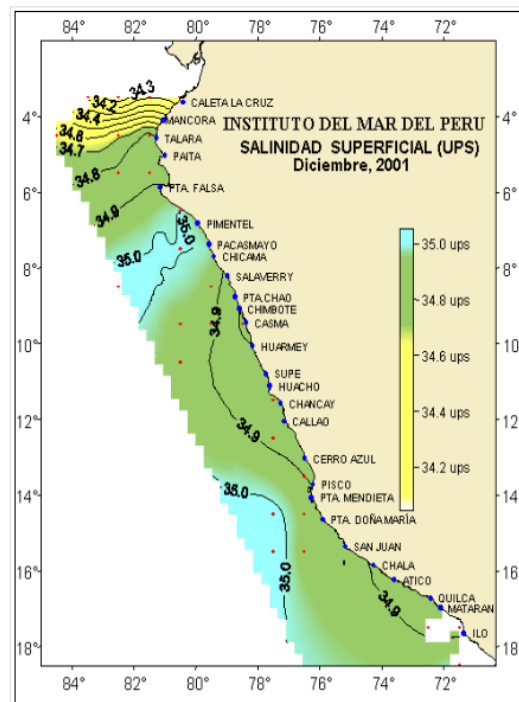
**Tabla 11**

*Composición del agua de mar a una salinidad superficial de 35 ups*

Símbolo	Elemento	% de total	mmoles	g/kg
Cl <sup>-</sup>	Cloruro	55,29	546,0	19,353
Na <sup>+</sup>	Sodio	30,74	469,0	10,760
Mg <sup>2+</sup>	Magnesio	3,69	53,0	1,292
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfato	7,75	28,0	2,712
Ca <sup>2+</sup>	Calcio	1,18	10,3	0,412
K <sup>+</sup>	Potasio	1,14	10,2	0,399
<b>Total</b>		<b>99,80</b>		

Fuente: Elaboración propia. Análisis en ICP-OES (ESME, 2011)

En los valores proporcionados por IMARPE, (2001), la salinidad era de aproximadamente 34,9 ups en la costa sur del país, incluyendo las playas de Tacna, tal como se observa en la Figura 41.



*Figura 41. Salinidad anual [ups] en la superficie mar de Tacna.*

Fuente: Instituto del mar del Perú, 2001.

➤ **Constantes experimentales de la lixiviación de sulfuro de cobre**

Después de varias pruebas de rastreo, se estableció como constantes experimentales las siguientes:

Peso de muestra	= 1000 g.
Malla de molienda	= 100 % -m100 (ASTM).
Densidad de pulpa	= 25 % de sólidos peso/peso.
Agitación	= 750 revoluciones por minuto.
Temperatura ambiente	= 25 °C.
pH	= ≤ 1,5 -1,8.
Tiempo	= 5 horas.
Gravedad específica del mineral	= 2,71
Aireación (oxígeno del aire)	= 2,2 ppm

➤ **Elección de los reactivos a utilizar en este estudio**

La selección del agente químico lixivante depende de su disponibilidad, costo, estabilidad química, selectividad, facilidad de producir y regenerar, que permite la recuperación del cobre en una solución cargada (PLS = pregnant leaching solution) y de este la extracción del cobre en forma económica.

En base a la teoría y avances en la búsqueda de tecnología limpia de diversos investigadores se plantea usar los siguientes reactivos como

oxidantes teniendo como acuoso al agua de mar, la cual ya cuenta con aproximadamente 0,5 M de cloruro de sodio, el sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), nitrato de sodio comercial ( $\text{NaNO}_3$ ) y cloruro de sodio comercial ( $\text{NaCl}$ ). Para regular el pH se ha utilizado ácido sulfúrico reciclado de baterías de vehículos automotores, previamente filtrado.

El estudio de los reactivos para lixiviación de sulfuros de cobre se efectuó mediante un diseño estadístico factorial  $N = 2^k$  donde N es el número de pruebas y k es el número de variables. En la Tabla 12 se da los símbolos y niveles utilizados en el diseño factorial completo.

**Tabla 12**

*Variables, símbolos y niveles en el diseño factorial central compuesto rotacional*

Variable	Fórmula	Contenido en g/t		
		Bajo -1	centro 0	Alto +1
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	40	60	80
Nitrato de sodio	$\text{NaNO}_3$	15	22,5	30
Cloruro de sodio	$\text{NaCl}$	20	30	40

Fuente: Elaboración propia.

Variable respuesta:

$Y_1 = \%$  de recuperación de Cu como PLS.

➤ **Química de la lixiviación de sulfuro de cobre con agua de mar**

Además del agua, que es utilizada para lixiviar sulfatos y cloruros solubles, existe una gran variedad de reactivos que pueden usarse para lixiviación de menas o concentrados refractarios. A continuación se incluye los reactivos de lixiviación de mayor uso industrial que se tienen a la fecha, que en muchos casos se usan en combinación. Estos son:

Ácidos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ácido Sulfúrico</li><li>• Ácido Clorhídrico</li><li>• Ácido Nítrico</li></ul>
Bases	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Cal</li><li>➤ Hidróxido de Sodio</li><li>➤ Hidróxido de Amonio</li></ul>
Agentes complejantes	<ul style="list-style-type: none"><li>❖ Amoniaco</li><li>❖ Sales de Cianuro</li><li>❖ Sales de Cloruros</li><li>❖ Sales de Carbonato</li></ul>
Agentes oxidantes	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Oxígeno</li><li>✓ Sales Férricas</li><li>✓ Peróxido de Sodio o Hidrógeno</li><li>✓ Permanganato</li><li>✓ Dióxido de Manganeso</li></ul>
Agentes reductores	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Gas CO</li><li>▪ Gas SO<sub>2</sub></li><li>▪ Gas H<sub>2</sub></li></ul>

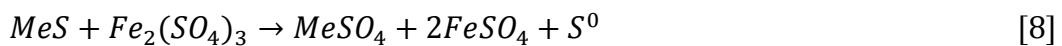
Fuente: Ruiz, 2013

Todos estos reactivos se están utilizando en la hidrometalurgia usando agua dulce o cuando menos reciclada dentro de la misma Planta Metalúrgica, pero en su mayoría a altas temperaturas y bajas recuperaciones.

En esta Tesis desde el enfoque de las Ciencias Ambientales apoyada en la Ingeniería Metalúrgica, se pone en consideración una nueva tecnología de lixiviación de menas calcopiríticas en medio ácido utilizando como medio acuoso al agua de mar sin desalinizar y sales oxidantes, con el ácido sulfúrico como coadyuvante y modificador del pH. De hecho, el agua de mar contiene un elemento lixivante de los sulfuros de cobre que es el cloro (Cl<sup>-</sup>), pero según pruebas realizadas la reacción es muy lenta a temperatura ambiente. Con las sales propuestas en la Tabla 12 a condiciones normales se corrieron las pruebas y se evaluó qué mejora se puede conseguir.

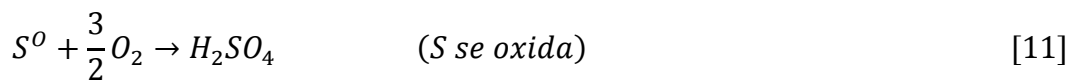
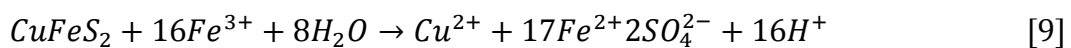
Las reacciones de disolución son de varios tipos y pueden ser clasificadas en forma general como (1) físicas, (2) químicas, (3) electroquímicas, y (4) electrolíticas. Todas ellas están sucediendo de alguna manera en un proceso donde se juntan las sales sulfato férrico, nitrato de sodio y cloruro de sodio en un medio ácido para disolver los minerales sulfuros de cobre y otros sulfuros y óxidos que los acompañan.

Lowe (1970) para disolver los minerales de cobre en agua dulce, con solución de sulfato férrico planteó la siguiente reacción:

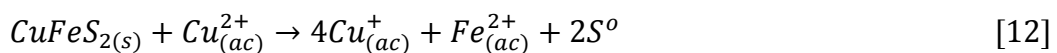


Donde MeS corresponde a la calcocita, bornita, covelita y calcopirita.

Singer and Stum (1970), Nicholson and Scharer (1994), Dutrizac and MacDonald (1974), plantearon las siguientes reacciones:



Outokumpo (2003) ha desarrollado un nuevo proceso de lixiviación, denominado HydroCopper™. En este proceso parecido al proceso Ecuprex muestra la disolución de la calcopirita de acuerdo a la siguiente reacción:



### ➤ Procedimiento experimental de la lixiviación de sulfuros de cobre

Las pruebas experimentales a nivel de laboratorio de la lixiviación con agua de mar usando sales oxidantes de los sulfuros de cobre de la muestra en estudio, fueron llevadas a cabo para establecer la factibilidad

de disolución de los sulfuros primarios (calcopirita, bornita, etc.) principalmente, sobre todo la calcopirita que es la menos soluble en solución de ácido sulfúrico o cianuro. Se siguió el siguiente esquema.

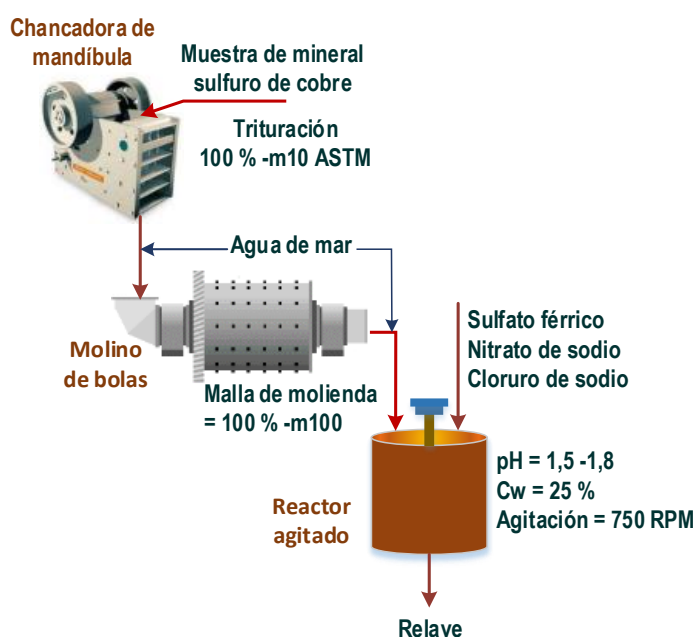
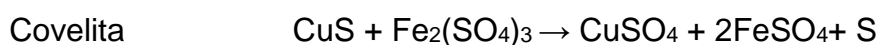
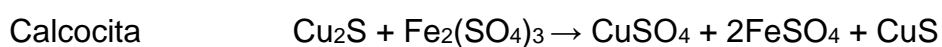
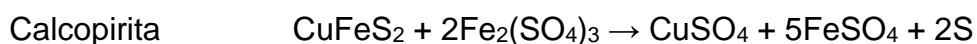
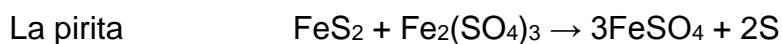


Figura 42. Esquema experimental de lixiviación.  
Fuente: Elaboración propia.

El papel de sulfato férrico como disolvente puede ser visto por las siguientes reacciones:



## **CAPÍTULO V**

### **PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **5. Presentación y análisis de resultados**

##### **5.1. Presentación de los resultados de la investigación cualitativa**

El resultado de la investigación cualitativa exploratoria<sup>6</sup> resultó del empleo de la técnica documental encontrada y recopilada de los archivos de los medios de prensa hablada y escrita de esta Región, la cual se ha suscitado cronológicamente y ha permitido realizar y puntualizar de carácter particular al proceso investigativo en esta primera fase.

En función de los objetivos de la presente tesis, en esta fase, el análisis permite plantear el siguiente resultado:

La responsabilidad social empresarial ha sido implementada por las Empresas Mineras actualmente en actividad en concordancia con las leyes

---

<sup>6</sup> En esta investigación resultó imposible participar directamente para observar el problema, por la extrema sensibilidad que hay en la población de reaccionar contra el investigador que es foráneo, es por ello que se ha recurrido a participar indirectamente, analizando la percepción de los pobladores altoandinos frente a la RSE y al desarrollo sostenible ante la presencia de la minería.

dadas por el Estado, en la zona de estudio, pero no satisface a los pueblos y comunidades altoandinas porque no conduce a su desarrollo sostenible en forma general debido a que está dirigida a ejecutar pequeños proyectos en educación, salud, alimentación e infraestructura, que luego de ser entregada para su uso, el Estado no se hace presente con presupuesto para su mantenimiento y tenga un mayor alcance uniendo capitales del aporte voluntario de las empresas mineras y del estado para realizar proyectos de mayor envergadura y permanezcan en el tiempo y que beneficie a todos los afectados por la minería. Por tanto se debe mejorar.

También se ha encontrado una inadecuada distribución del agua superficial y de subsuelo, que solo afecta a los pueblos y comunidades altoandinas, y por otro lado, la no tecnificación del sistema de riego, hace que haya mayor consumo de agua en pequeñas áreas cultivadas regadas por inundación, que conlleva a un desperdicio de este recurso.

Del mismo modo se ha encontrado una inadecuada distribución del canon minero, regalías mineras y otros, que son pequeñas cantidades, que no permiten la realización de obras de envergadura en captación de agua en tiempos de lluvia, educación, salud, mejora agropecuaria, alimentación e infraestructura y así contribuir al desarrollo sostenible.

Por otro lado, las mesas de diálogo hasta el momento no han dado ningún resultado en favor de los pueblos y comunidades altoandinas de la región Tacna y por ende está latente el reinicio de conflictos sociales, económicos y ambientales.

También se tiene que mencionar que, el sector minero viene enfrentando este problema, ejecutando estrategias que pasan por entender y comprender la realidad socio-económica de la región en la que operan. Paralelamente, las empresas invierten importantes recursos en implementar programas adecuados a cada realidad particular en manejo ambiental, desarrollo social y relación con la comunidad. Es necesario señalar también que, para facilitar el éxito de esta estrategia, debe ser implementada desde el inicio de la labor exploratoria y no se debe esperar a que las operaciones ya estén en marcha, lo que en la zona de estudio está sucediendo. Es decir, la estrategia de las empresas mineras para construir una relación sostenible con los actores sociales pasa por adoptar una política de responsabilidad social y ambiental desde el inicio con una seria y clara transparencia, reconociendo a las comunidades como interlocutores válidos y respetables en todos sus derechos. Asimismo, se debe promover un proceso de participación ciudadana abierto, transparente y permanente, con una verdadera y eficaz participación y presencia continua del Estado, para hacer cumplir las normas y Leyes

existentes para este sector, que es muy sensible. En lo que respecta a la inversión en desarrollo que ejecutan las empresas, éstas deben evitar el paternalismo y, en su lugar, promover el desarrollo sostenible de cada una de las comunidades y pueblos aledaños a su emplazamiento en plena armonía y confianza, formando pequeñas empresas cuyos productos vayan a mercados competitivos.

## **5.2. Presentación de los resultados de la investigación cuantitativa**

### **5.2.1. Resultados del proceso de flotación en agua de mar**

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente uno o más parámetros, vinculados a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental es el procedimiento de planeación y conducción de experimentos, así como la definición del análisis estadístico para evaluar los resultados, con el objetivo de tener conclusiones válidas y objetivas. El procedimiento incluye la definición de factores a modificar, la manera de su aplicación y el número de pruebas a realizar. La mayor parte de la investigación científica se realiza por medio de experimentos, y para que un experimento tenga validez, tiene que ser realizado mediante un método objetivo, y hasta ahora, la estadística es la única herramienta que cumple esa característica para la

realización y el análisis de experimentos. El diseño de experimentos es indispensable para realizar cualquier investigación científica, por ello en esta oportunidad se empleará un diseño experimental factorial a dos niveles, el cual está representado por el modelo matemático de cribado teniendo en cuenta el esquema de la Figura 43, el cual está definido por la expresión siguiente:

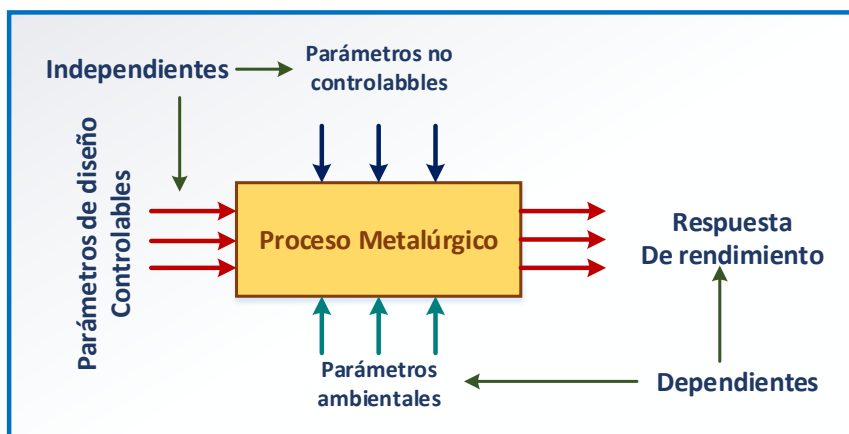


Figura 43. Modelo general de un proceso metalúrgico adaptado de Montgomery, 2004.

Fuente: Elaboración propia.

$$\bar{Y} = a_0 + \sum_{j=1}^k b_j X_j + \sum_{u=j=1}^k b_{uj} X_u + \varepsilon \quad [13]$$

Este modelo debe predecir todos los puntos del diseño incluyendo el punto central. El número de pruebas que se efectuaron según la Figura 43 se determinó de acuerdo a la expresión:

$$N = 2^4 = 16 + 04 = 20 \text{ pruebas}$$

El diseño experimental estadístico fue desarrollado utilizando el software STATGRAPHICS Centurion XVII.2. La matriz para las cuatro variables y su correspondiente recuperación del cobre en el concentrado se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Diseño factorial con valores reales y recuperación de Cu*

<b>Código</b>	<b>AZ-W3500</b>	<b>AZ-W3000</b>	<b>JR-W19</b>	<b>JR-W07</b>	<b>R<sub>Cu</sub></b>
<b>Prueba</b>	<b>g/t</b>	<b>g/t</b>	<b>g/t</b>	<b>g/t</b>	<b>%</b>
NLG01	30	8	2	5	79,37
NLG02	10	8	2	5	66,75
NLG03	10	28	2	5	77,15
NLG04	10	8	8	5	73,76
NLG05	10	8	2	15	84,23
NLG06	30	28	8	15	87,45
NLG07	30	28	2	15	85,23
NLG08	10	28	8	5	75,36
NLG09	10	28	2	15	81,46
NLG10	30	8	2	15	85,78
NLG11	30	8	8	15	86,24
NLG12	30	28	8	5	84,92
NLG13	30	8	8	5	82,58
NLG14	30	28	2	5	85,54
NLG15	10	28	8	15	75,36
NLG16	10	8	8	15	73,24
NLG17	20	18	5	10	83,24
NLG18	20	18	5	10	79,65
NLG19	20	18	5	10	80,24
NLG20	20	18	5	10	81,62

Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención de la respuesta a cada prueba en términos de recuperación de cobre ( $Y_i$ ) se han efectuado las pruebas de flotación de desbaste (*Rougher*) cuyo balance metalúrgico se muestra en las Tablas 14 y 15 a modo de ejemplo, obtenidos después de realizada cada prueba.

**Tabla 14**

*Balance metalúrgico de la prueba NLG07*

Productos	Masa	Ley	Contenido	%
	g	% Cu	metálico Cu	Distribución Cu
Cabeza	2 850,00	0,650	18,525	100,00
Conc. Cu	275,547	5,730	15,789	<b>85,23</b>
Relave	2 574,453	0,106	2,736	14,77

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15**

*Balance metalúrgico de la prueba NLG011*

Productos	Masa	Ley	Contenido	%
	g	% Cu	metálico Cu	Distribución Cu
Cabeza	2 850,00	0,650	18,525	100,00
Conc. Cu	446,256	3,580	15,976	<b>86,24</b>
Relave	2 403,744	0,106	2,549	13,76

Fuente: Elaboración propia.

Luego se realizó un análisis de varianza para evaluar la significancia de los efectos y las interacciones entre los factores investigados. Un efecto es considerado como significativo si su nivel de significación es mayor que

95 %, lo que significa que el modelo con un P-valor inferior a 0,05 podría ser considerable. El análisis calculado mediante el software Statgraphics Centurion XVII.2 con licencia de prueba por 31 días, se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Análisis de Varianza para RCu - Flotación de sulfuro de Cu en agua de mar*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>P Valor</b>
A:AZ-W3500	304,502	1	304,50200	38,78	<0,0002
B:AZ.W3000	26,3169	1	26,3169	3,35	0,1004
C:JR-W19	2,7225	1	2,7225	0,35	0,5704
D:JR-W07	70,3921	1	70,3921	8,97	<0,0151
AB	0,297 025	1	0,2970	0,04	0,8501
AC	18,3612	1	18,3612	2,34	0,1606
AD	5,040 02	1	5,040	0,64	0,4437
BC	2,350 3	1	2,235	0,28	0,6066
BD	26,265 6	1	26,2656	3,35	0,1007
CD	30,858	1	30,858	3,93	0,0787
Error total	70,663 3	9	7,8514		
Total (corr.)	557,654	19			

Fuente: Resultados obtenidos con el software statgraphics centurión XVII.2.

$R^2 = 87,328 \%$ ,  $R^2$  (ajustada por g.l.) = 73,249 % y error estándar = 2,802.

Valores aceptables. Los datos del análisis de varianza mostrado en la Tabla 16 son concordados con el diagrama de Pareto para determinar la significancia de las variables.

El diagrama de Pareto indica gráficamente que las variables significativas son el colector primario (AZ-W3500) y el espumante primario (JR-W07), dado en la Figura 44.

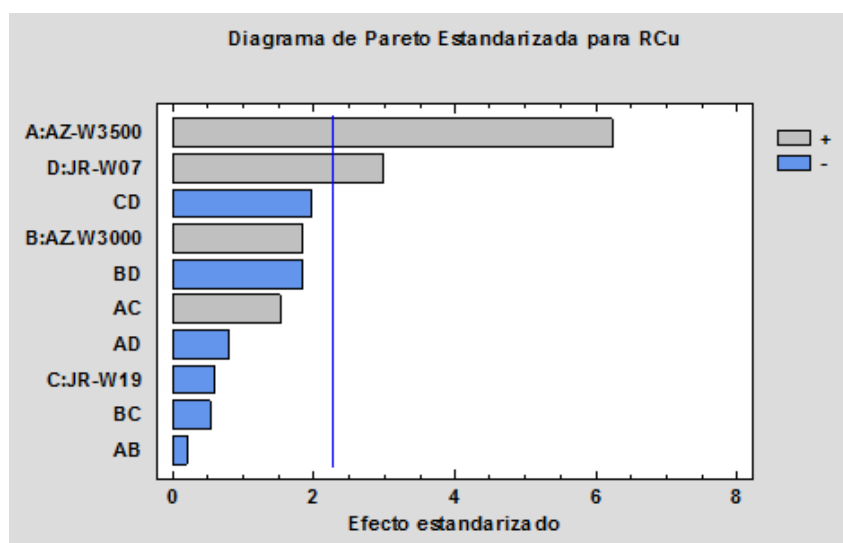


Figura 44. Diagrama de Pareto a un nivel de confianza del 95 %.  
Fuente: Elaboración propia

El modelo matemático obtenido del análisis regresional mediante el Softwar Statgraphic Centurion XVII.2 a escala real es:

$$R_{Cu} = 56,3899 + 0,394483*AZ-W3500 + 0,474042*AZ.W3000 + 0,298417*JR-W19 + 1,56817*JR-W07 - 0,0013625*AZ-W3500*AZ-W3000 + 0,0357083*AZ-W3500*JR-W19 - 0,011225*AZ-W3500*JR-W07 - 0,0124583*AZ-W3000*JR-W19 - 0,025625*AZ-W3000*JR-W07 - 0,0925833*JR-W19*JR-W07 \quad [14]$$

En el análisis de este modelo al igualar a cero las cuatro variables, la recuperación de cobre en el concentrado es igual a la constante de signo

positivo, por tanto, indica que está en su mínimo y puede maximizarse. Gráficamente se muestra en la Figura 45.

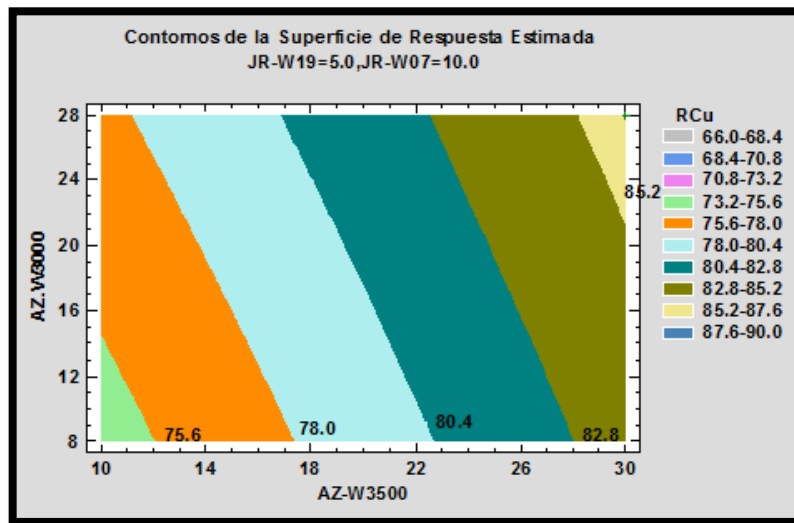


Figura 45. Diagrama de superficie respuesta.  
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la Figura 45 que no es un sistema lineal sino un sistema cuadrático, que al optimizarlo da valores como los que se muestran a continuación.

### Optimizar Respuesta

Meta: maximizar RCu

Valor óptimo = 87,386

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
AZ-W3500	10,0	30,0	30,0
AZ-W3000	8,0	28,0	28,0
JR-W19	2,0	8,0	8,0
JR-W07	5,0	15,0	5,0

Fuente: Obtenido con el Software Statgraphics Centurion XVII.2.

De estos resultados se tomó las variables más significativas por ser las variables más importantes para el proceso de flotación para llegar a una posible optimización. Para ello se ha seleccionado el modelo de diseño factorial central compuesto rotacional (DCCR) unido a la metodología Superficie de Respuesta, que resulta de un modelo de segundo orden, definido por la expresión:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad [15]$$

Para este modelo se ha elegido los factores más significativos, los cuales se muestran en la Tabla 17, manteniendo constantes las variables no significativas en su nivel inferior.

**Tabla 17**

*Factores y variable respuesta del DCCR*

Factores	Nivel		Unidad	Continuo	Variable Respuesta	Unidad
	Bajo	Alto				
AZ-W3500	20	30	g/t	Sí	R <sub>Cu</sub>	%
JR-W07	3	5	g/t	Sí		

Fuente: Elaboración propia.

El colector secundario se mantiene constante = 18 g/t y el espumante secundario se mantiene constante = 2 g/t. Los niveles de las variables independientes consideradas y a escala natural obtenidas mediante la

ecuación [15], así como los resultados de las pruebas de flotación del sulfuro de cobre y molibdeno para el diseño central compuesto rotacional (datos de entrada al software) se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Matriz del diseño DCCR a escala natural*

<b>Código</b>	<b>AZ-W3500</b>	<b>JR-W07</b>	<b>R<sub>Cu</sub></b>	<b>Ley</b>
<b>Prueba</b>	<b>g/t</b>	<b>g/t</b>	<b>%</b>	<b>% Cu</b>
NLG001	25	2,5858	74,46	5,28
NLG002	30	3	79,84	4,24
NLG003	30	5	89,14	3,18
NLG004	17,9289	4	76,36	4,35
NLG005	20	3	79,58	4,25
NLG006	20	5	81,34	4,11
NLG007	25	5,4142	85,12	3,98
NLG008	32,071	4	87,68	3,78
NLG009	25	4	84,32	3,89
NLG010	25	4	80,64	4,12

Fuente: Data obtenida para el DCCR 2<sup>2</sup> + 4 estrella + 2 centro.

Para mostrar cada uno de los valores obtenidos en la Tabla 18, se da a manera de ejemplo los balances metalúrgicos de dos pruebas en las condiciones experimentales establecidas en esta investigación. Los resultados de estas pruebas del diseño factorial central compuesto se muestran en las Tablas 19 y 20 en función a la ley y recuperación de cobre como sulfuro.

**Tabla 19***Balance metalúrgico de la prueba NLG001*

Productos	Masa	Ley	Contenido	%
	g	% Cu	metálico Cu	Distribución Cu
Cabeza	2 850,00	0,65	18,525	100,00
Conc. Cu	261,245	<b>5,28</b>	13,794	<b>74,46</b>
Relave	2588,755	0,183	4,731	25,54

Fuente: Elaboración propia.

En cada prueba se ha mantenido constante la extracción de la espuma mineralizada (frecuencia) con el propósito de que las pruebas sean diferenciadas, para cada nivel considerado de cada variable.

**Tabla 20***Balance metalúrgico de la prueba NLG002*

Productos	Masa	Ley	Contenido	%
	g	% Cu	metálico Cu	Distribución Cu
Cabeza	2 850,00	0,65	18,525	100,00
Conc. Cu	348,829	<b>4,24</b>	14,790	<b>79,84</b>
Relave	2 501,171	0,149	3,735	20,16

Fuente: Elaboración propia.

Operacionalmente, estas pruebas se han realizado teniendo en cuenta el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 46. De la misma

manera se han efectuado todas las pruebas de la matriz que responde al sistema de diseño central compuesto rotacional (DCCR).

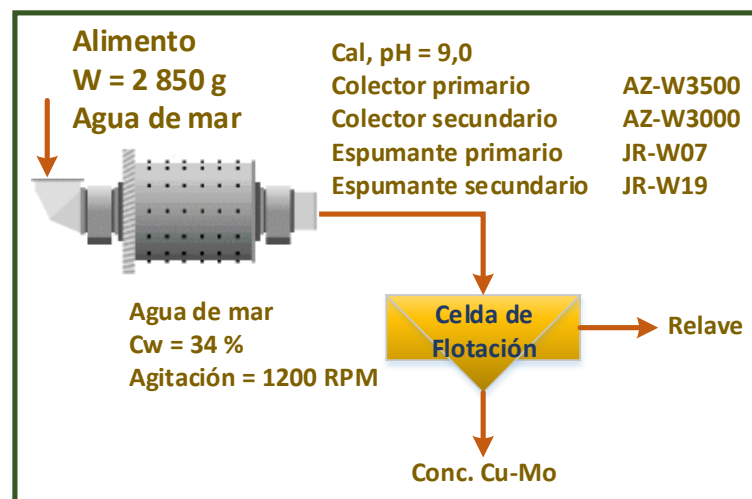


Figura 46. Esquema de la prueba de flotación de desbaste (Rougher)  
Fuente: Elaboración propia.

Mediante el uso del Software Statgraphics Centurion XVII.2 se procedió a analizar los datos obtenidos experimentalmente para obtener el cálculo de los efectos estimados para la  $R_{Cu}$  (%), presentados como salida y muestran la ortogonalidad de las variables y su interacción principal.

Efecto	Estimado	Error Estándar	V.I.F.
promedio	82,480	1,64372	
A:AZ-W3500	6,017	1,64372	1,0
B:JR-W07	6,534	1,64373	1,0
AA	0,325	2,17443	1,225
AB	3,770	2,32458	1,0
BB	-1,905	2,17445	1,225

Fuente: Obtenido con el Statgraphic Centurion XVII.2.

Luego se procedió a identificar la significancia de las variables estudiadas mediante el diagrama de Pareto mostrado en la Figura 47.

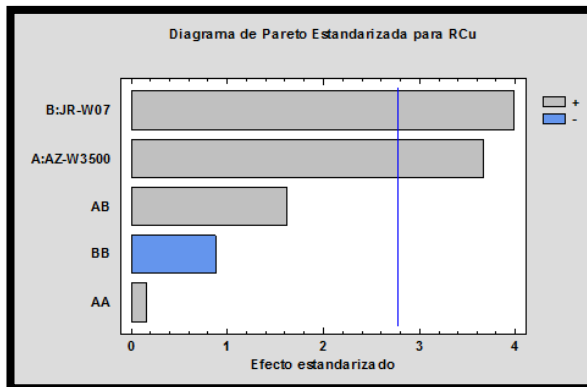


Figura 47. Análisis gráfico de Pareto al 95 % de confianza.  
Fuente: Obtenido con el software Statgraphic Centurion XVII.2.

El análisis de Pareto indica que los efectos significativos en el proceso de flotación de sulfuros de Cu-Mo en agua de mar son el espumante JR-W07 y Colector AZ-W3500 para una significancia del 95 %. En la Figura 48 se observa que el espumante JR-W07 tiene mayor pendiente, por lo que tiene mayor significancia en el proceso de flotación.

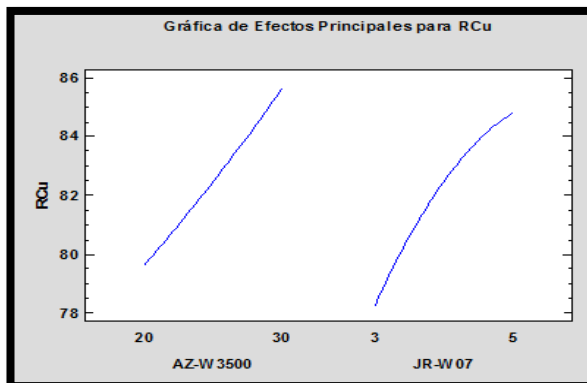


Figura 48. Análisis gráfico de efectos principales.  
Fuente: Obtenido con el Statgraphic Centurion XVII.2.

Se nota también que el colector AZ-W3500, asegura una buena concentración de los sulfuros valiosos de Cobre y Molibdeno en un ambiente salino, proporcionado por el agua de mar sin desalinizar.

En la Figura 49, se puede observar que dentro del nivel de la operación de flotación de sulfuros valiosos Cu-Mo, la interacción entre el colector – espumante, es este último el que tiene mayor efecto significativo, por lo que debe controlarse adecuadamente, pues puede afectar en la calidad del concentrado, arrastrando más material de ganga y bajando la ley, que podría resultar inadecuada para el proceso ulterior a aplicarse, para extraerlos como metal.

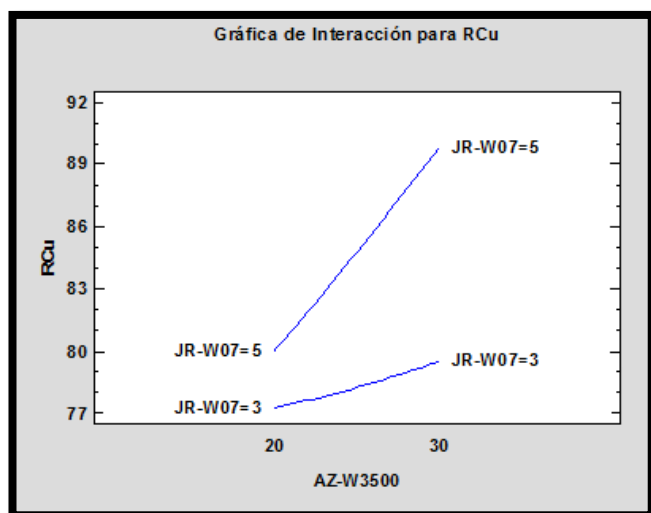


Figura 49. Análisis gráfico de las interacciones.  
Fuente: Elaboración propia, 2011-2013.

Luego se realizó el análisis de varianza para  $R_{Cu}$  el cual se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 21***Análisis de Varianza para  $R_{Cu}$  - Flotación modelo de 2<sup>do</sup> grado*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:AZ-W3500	72,4141	1	72,4141	13,40	0,0216
B:JR-W07	85,3831	1	85,3831	15,80	0,0165
AA	0,120709	1	0,120709	0,02	0,8884
AB	14,2129	1	14,2129	2,63	0,1802
BB	4,14744	1	4,14744	0,77	0,4304
Error total	21,6146	4	5,40366		
Total (corr.)	199,596	9			

$R^2 = 89,171 \%$

$R^2$  (ajustado por g.l.) = 75,634 %

Fuente: Elaboración propia. 2013.

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo, así ajustado, explica el 89,17 % de la variabilidad en  $R_{Cu}$ . El estadístico  $R^2$  ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es de 75,63 %.

Seguidamente, mediante el uso del software Statgraphics Centurion XVII.2 se procedió a determinar el modelo matemático correspondiente a este diseño, el cual resulta ser el siguiente:

$$R_{Cu} = 80,8915 - 1,23127*AZ-W3500 + 1,46196*JR-W07 + 0,00649981*AZ-W3500^2 + 0,377*AZ-W3500*JR-W07 - 0,952502*JR-W07^2 \quad [16]$$

En la Figura 50, se observa que proyecta un sistema de curvas, en donde la máxima recuperación se logra con los niveles máximos, como se ve en la optimización, realizada con este software.

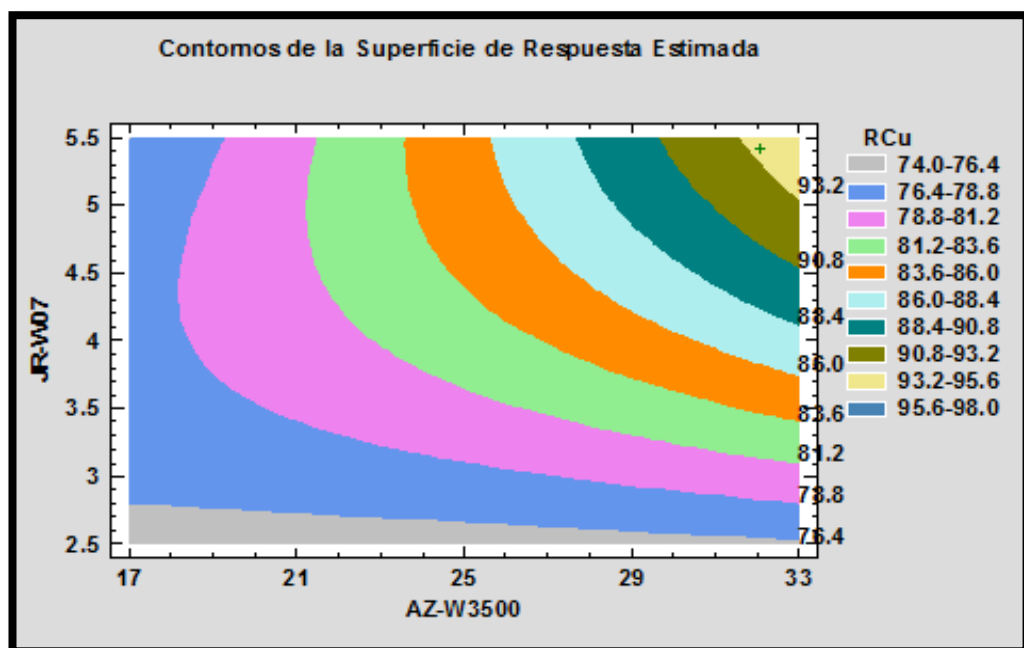


Figura 50. Superficie respuesta de AZ-W3500-JR-W07.  
Fuente: Elaboración propia. 2013.

### Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Rcu

Valor óptimo = 93.545

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
AZ-W3500	17,9289	32,0711	<b>32,0711</b>
JR-W07	2,58579	5,41421	<b>5,41421</b>

Fuente: Valores obtenidos mediante el Statgraphics C XVII.2.

### 5.2.1.1. Validación del Modelo

Para la validación del modelo obtenido, dado en la ecuación [16], en las condiciones experimentales estudiadas en esta tesis, resulta necesario e importante realizar una prueba para evaluar la cinética de flotación en las condiciones óptimas dadas por el modelo de segundo orden. Para ello se mantuvo todas las constantes experimentales incluyendo los valores óptimos de este modelo.

#### ➤ **Cinética de flotación de sulfuros Cu-Mo en agua de mar**

Para evaluar la cinética de flotación, la pulpa con 34 % de sólidos por peso, se transfirió a una celda de flotación de laboratorio, adicionándose la cal para elevar el pH a 9,0; luego los colectores acondicionándose por 4 minutos y un minuto los espumantes para empezar a flotar con una frecuencia de 20 paletadas por minuto. La dosificación empleada es la siguiente:

#### **Colectores:**

AZ-W3500 (primario) = 32 g/t

AZ-W3000 (secundario) = 18 g/t

#### **Espumantes:**

JR-W07 (primario) = 5,5 g/t

JR-W19 (secundario) = 2 g/t

La prueba de flotación, técnicamente, se denomina prueba de flotación fraccionada, debido a que a cada tiempo planificado, se retira la bandeja de concentrado, y así sucesivamente hasta el último tiempo. El producto de cada bandeja se somete a filtrado y secado a fuego lento para no alterar la muestra, de modo de no interferir en el resultado del análisis químico. En esta oportunidad, solo se ha analizado lo estrictamente necesario, debido al costo que tienen para el análisis de cobre y molibdeno, aun cuando se tienen los equipos en el Laboratorio de Análisis de Minerales y Metales de la ESME/FAIN-UNJBG. Los resultados de la prueba de flotación fraccionada se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Determinación de las recuperaciones de Cu y Mo para cada tiempo*

Concentrado	Tiempo min	Peso g	Ley		Cont. Metal		% Distribución	
			% Cu	% Mo	Cu	Mo	Cu	Mo
1	1	94,05	11,255	0,343	10,585	0,3226	57,12	40,42
2	2	54,15	6,05	0,329	3,276	0,1782	17,68	22,32
3	4	102,6	2,25	0,083	2,309	0,0852	12,46	10,67
4	8	99,75	1,126	0,069	1,123	0,0688	6,06	8,62
5	18	82,65	0,768	0,074	0,635	0,0612	3,43	7,66
Relave		2416,80	0,025	0,0034	0,604	0,0822	3,26	10,30
Cabeza Calc.		2850,00	0,650	0,028	18,532	0,7981	100,00	100,00

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de la Tabla 22 se construye la Tabla 23.

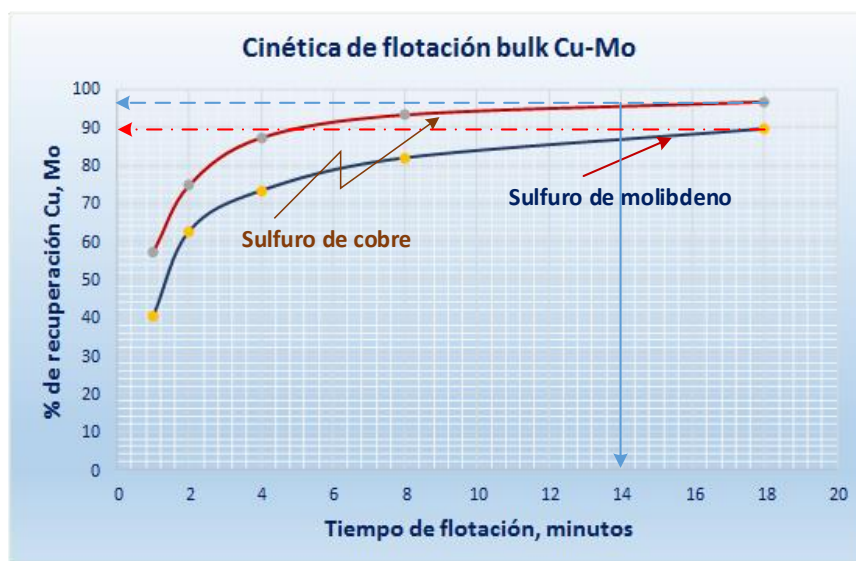
**Tabla 23**

*Recuperaciones parciales y acumuladas para Cu y Mo*

Tiempo	% r(Cu)	% r(Mo)	% R(Cu)	% R(Mo)
1	57,12	40,42	57,12	40,42
2	17,68	22,32	74,8	62,74
4	12,46	10,67	87,26	73,41
8	6,06	8,62	93,32	82,03
18	3,43	7,66	96,75	89,69

Fuente: Elaboración propia

La representación gráfica se obtiene ploteando la columna 1 en el eje X y las columnas 4 y 5 en el eje Y, del cual se obtiene la Figura 51. En esta Figura se puede notar que el sulfuro de cobre (> calcopirita) sigue flotando mejor que el Molibdeno ( $\text{MoS}_2$ ) cuando se flota con agua dulce.



*Figura 51. Representación gráfica de la cinética de flotación Cu-Mo.*

Fuente: Elaboración propia.

Los modelos cinéticos de cada metal valioso se dan a continuación:

$$R_{Cu} = 96,84\{1 - \exp[-0,34737(t + 2,026)]\} \quad [17]$$

$$R_{Mo} = 90,5\{1 - \exp[-0,23(t + 2,548)]\} \quad [18]$$

**Tabla 24**

*Determinación de las leyes acumuladas de Cu y Mo*

Cu Acum.	Mo Acum.	Peso Acum.	% Cu Acum.	% Mo Acum.
10,585	0,3226	94,05	11,26	0,343
13,861	0,5007	148,20	9,35	0,338
16,170	0,5859	250,80	6,45	0,234
17,293	0,6547	350,55	4,93	0,187
17,928	0,7159	433,20	4,14	0,165

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de la Tabla 24 se determina los valores de las leyes y recuperaciones de ambos elementos valiosos contenidos en el concentrado, mostrados en la Tabla 25, que a su vez se emplean para graficar las curvas Ley– Recuperación.

**Tabla 25**

*Valores de ley y recuperación para el Cu y Mo*

% Cu Acum.	% R(Cu)	% Mo Acum.	% R (Mo)
11,26	57,12	0,343	40,42
9,35	74,80	0,338	62,74
6,45	87,26	0,234	73,41
4,93	93,32	0,187	82,03
4,14	96,75	0,165	89,69
0,65	100,00	0,028	100,00

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 25 da origen a la Figura 52 la cual muestra que el sulfuro de cobre es más dócil al flotar con agua de mar que el sulfuro de molibdeno. Esto se debe a iones como el Mg que recubre a la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) por precipitación y actúa como depresor.

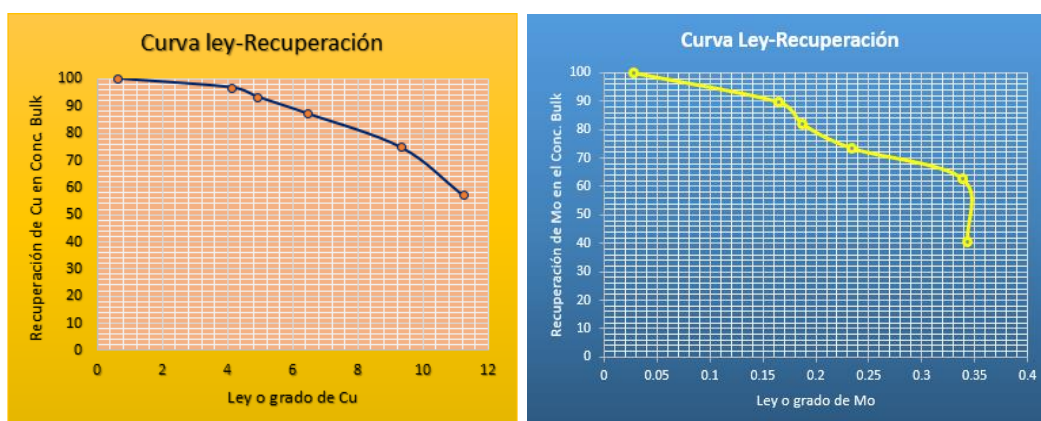


Figura 52. Curva Ley-Recuperación de Cu y Mo  
Fuente: Elaboración propia.

### ➤ Pruebas de flotación de Comprobación del modelo

Para validar el modelo se ha diseñado un circuito de flotación tradicional que consiste en una flotación de desbaste, donde el concentrado de esta etapa es remolida en un molino de bolas para liberar el molibdeno, luego se somete a la etapa de flotación de limpieza de la cual se obtiene el concentrado Cu-Mo.

Para ello se han realizado tres pruebas con los valores óptimos, manteniendo inalterables las otras constantes experimentales, siguiendo el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 53.

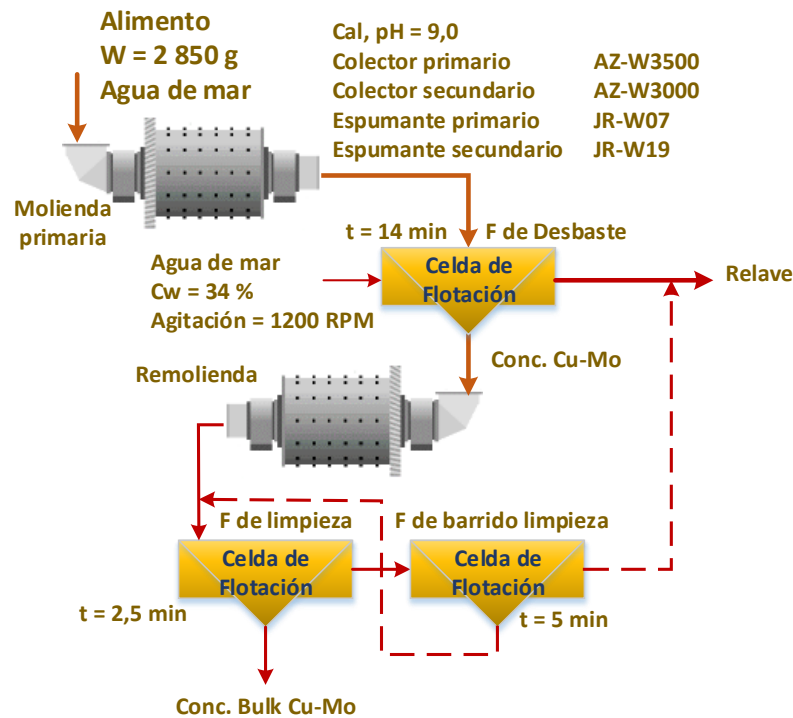


Figura 53. Esquema de la prueba de flotación de validación.  
Fuente: Elaboración propia.

El resultado promedio de las pruebas de flotación como producto final es el concentrado *bulk* (todo uno) Cu-Mo, que se muestra en la Tabla 26, en función de los datos cinéticos y del modelo del diseño experimental.

**Tabla 26**

*Balance Metalúrgico promedio de pruebas de validación*

Producto	% Peso	Leyes		% de distribución	
		% Cu	% Mo	Cu	Mo
Cabeza	100,00	0,65	0,0280	100,00	100,00
Conc. Cu-Mo	2,27	26,65	1,0003	<b>93,20</b>	<b>81,22</b>
Relave	97,73	0,05	0,0053	6,80	18,59

Fuente: Elaboración propia.

### **5.2.1.2. Análisis de la flotación de sulfuros de cobre en agua de mar**

Los valores obtenidos en la Tabla 26 valida los resultados obtenidos con el diseño experimental central compuesto rotacional debido a que se pueden replicar para cada mineral sulfuro y no sulfuro con el que se experimente en forma específica, y cumple con el objetivo específico, de que sí se puede flotar sulfuros de cobre en agua de mar sin desalinizar.

Las posibles consecuencias ambientales que pueda ocasionar este proceso quedan pendientes para un posterior estudio de investigación, por cuanto, es la gestión de los residuos. Se debe remarcar que es una alternativa viable y casi ya obligatoria que deben tener en cuenta las Empresas mineras que están operando en esta región y las que pretendan instalarse, por cuanto el cambio climático no será dejado de tener en cuenta en cualquier proyecto productivo y poblacional que se pretenda en el futuro, porque la escasez de agua dulce se irá incrementando año a año.

### **5.2.2. Resultados de la lixiviación de sulfuros de Cu con agua de mar**

Ipinza e Ibáñez (2014) manifiestan que en Chile y otros países a nivel mundial han utilizado agua salina (de mar, con cloruro de sodio, con cloruro de calcio y salmueras naturales) en sus procesos de concentración de minerales por flotación y de lixiviación en pilas, algunos de los cuales se indican a continuación:

*Mantos Blancos (Chile)*, en 1961 lixivia en pilas mineral atacamita y crisocola. Aglomerando en correa (faja transportadora) con cloruro de sodio. Logra 90 % extracción de cobre; consumo ácido: 3 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/kg cobre. La solución rica contenía 35-40 g/L Cu, 25-35 g/L Cl<sup>-</sup> y 2-3 g/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

*Planta Broken Hills Associated Smelters Pty. Ltd.* para el tratamiento de la mata de cobre derivada de un alto horno puesta en operación en 1984, fue la primera planta de extracción por solvente, habilitada para tratar una solución de lixiviación de ácido sulfúrico con un contenido cercano a 1 M de ion cloruro.

*Planta de Tocopilla (Chile)*, puesta en operación en 1987, lixivia su mineral de cobre usando agua de mar y posteriormente, extracción por solvente.

*La Planta Lince (Chile)*, que entró en operaciones a fines de 1991, supera los problemas de transferencia de cloruro a electro-obtención, produciendo cátodos grado A desde un PLS con un alto contenido de ion cloruro.

*Minera Michilla (Chile)*, lixivia su mineral (óxidos y sulfuros secundarios) usando agua de mar y cloruro de calcio, CaCl<sub>2</sub>, en medio ácido sulfúrico.

*Planta Chapi del Grupo MILPO (Perú)*, a fines del 2005, lixivia minerales de cobre secundario, usando altas concentraciones de cloruro en solución de ácido sulfúrico (Proceso Chapi-LIX).

*Proyecto Antucoya (Chile)*, después de los estudios experimentales, (2010-2011) decide lixiviar su mineral de limonitas de cobre, óxidos verdes y mixtos usando agua de mar.

*División Pampa Norte de BHP Billiton*, en los últimos 2 años estudia a nivel industrial la adición de cloruro de sodio en sus minerales mixtos y sulfuros secundarios.

Otros proyectos que utilizan el agua de mar en sus procesos son: en Chile Las Luces, Mantos de la Luna (LIX en pilas) y Esperanza (Concentradora); en Australia BHP RAVENSTHORPE Níquel (lixiviación); en Canadá Texada Mines (Concentradora) y en Indonesia Batu Hijau (Concentradora).

El presente trabajo se diferencia de todos los procesos antes mencionados y los existentes en la literatura, puesto que emplea sales oxidantes de bajo costo (comerciales) en medio ácido con una pequeña cantidad de ácido sulfúrico en medio acuoso de agua de mar, denominado Proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup> (nitrato-sulfato-cloruro-agua de mar) aplicado

a una mena calcopirítica. El desarrollo de la siguiente propuesta, ha sido evaluado por la metodología de investigación experimental, utilizando los diseños experimentales factoriales de cribado y el diseño factorial central compuesto rotacional, empleando el Software Statgraphics Centurion XVII.2. El estudio de esta propuesta se terminó a finales de 2011, el cual fue expuesto parcialmente al concluir el Seminario de Tesis III.

Este modelo debe predecir todos los puntos del diseño incluyendo el punto central. El número de pruebas que se corrieron se determinó de acuerdo a la expresión:

$$N = 2^3 = 8 \text{ pruebas.}$$

Donde:

N = Número de pruebas experimentales	= 8
Número de pruebas centrales	= 03
Número total de pruebas	= 11

El diseño experimental estadístico fue desarrollado utilizando el software STATGRAPHICS Centurion XVII.2.

La matriz para las tres variables denotadas por SF = Sulfato férrico, NS = Nitrato de sodio y CS = Cloruro de sodio y su correspondiente recuperación del cobre en el solución rica o PLS se muestra en la Tabla 27.

**Tabla 27***Diseño factorial con valores reales y recuperación de Cu*

Código	Bloque	SF	NS	CS	Re Cu
NL01	1	120	18	20	95,5
NL 02	1	60	18	10	80,3
NL03	1	120	18	10	88,9
NL04	1	60	36	20	83,7
NL05	1	120	36	20	98,1
NL06	1	120	36	10	91,2
NL07	1	60	18	20	78,8
NL08	1	60	36	10	84,6
NL09	1	90	27	15	88,2
NL10	1	90	27	15	87,4
NL11	1	90	27	15	85,8

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 28 del ANAVA muestra la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, se nota que cuatro efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativos dentro del nivel de confianza del 95 %.

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo, así ajustado, explica 98,97 % de la variabilidad en  $Re_{Cu}$ . El estadístico  $R^2$  ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97,43 %.

**Tabla 28**

*Análisis de Varianza para Recuperación de Cu*

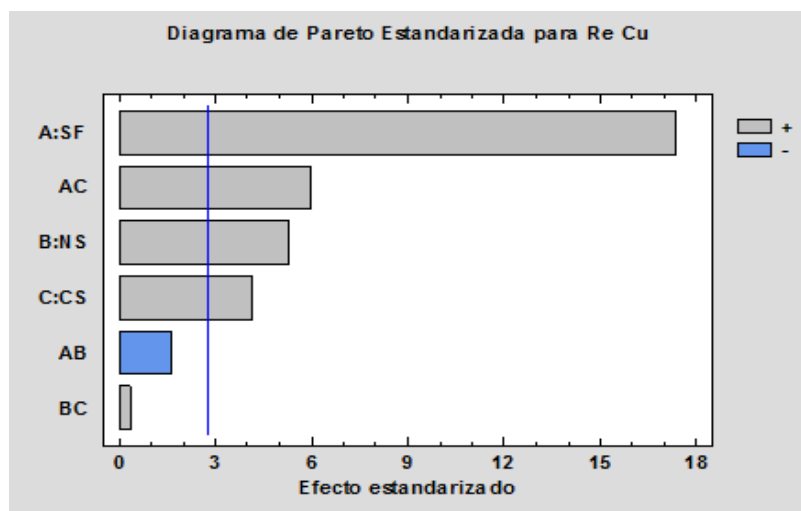
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:SF	267,961	1	267,961	301,72	0,0001
B:NS	24,8512	1	24,8512	27,98	0,0061
C:CS	15,4012	1	15,4012	17,34	0,0141
AB	2,31125	1	2,31125	2,60	0,1820
AC	31,6012	1	31,6012	35,58	0,0040
BC	0,10125	1	0,10125	0,11	0,7526
Error total	3,5525	4	0,888125		
Total (corr.)	345,78	10			

$R^2 = 98,9726 \%$

$R^2$  (ajustada por g.l.) = 97,4315 %

Fuente: Elaboración propia.

Las variables significativas son el sulfato férrico, el nitrato de sodio seguido del cloruro de sodio, hay una especie de sinergia entre el sulfato férrico y el cloruro de sodio (Figura 54).



**Figura 54.** Diagrama de Pareto al 95 % de significancia.

Fuente: Elaboración Propia.

La ecuación del modelo ajustado está dado por la siguiente expresión matemática:

$$Re_{Cu} = 74,75 + 0,0479167*SF + 0,3375*NS - 0,9825*CS - 0,00199074*SF*NS + 0,01325*SF*CS + 0,0025*NS*CS \quad [19]$$

El análisis de este modelo al igualar a cero las tres variables, la recuperación de cobre en el PLS es igual a la constante de signo positivo, por tanto, indica que está en su mínimo y puede maximizarse. Gráficamente se muestra en la Figura 55.

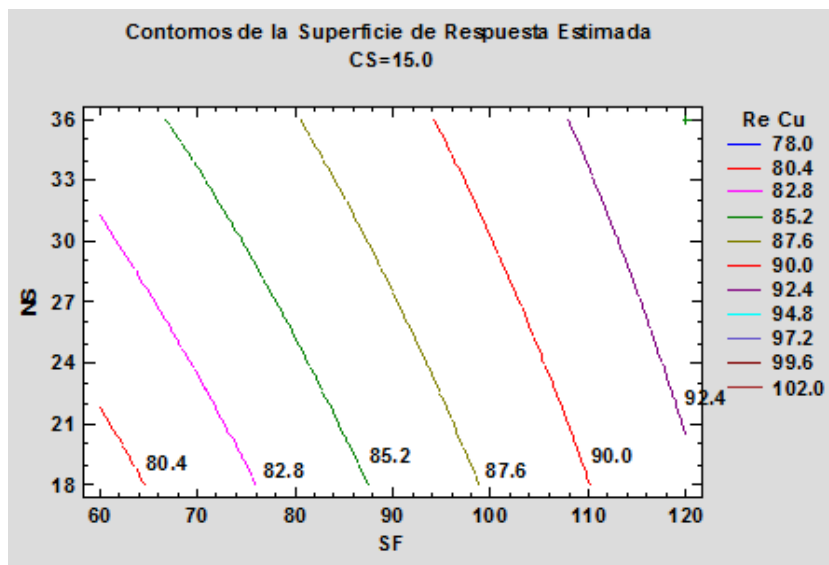


Figura 55. Diagrama de la superficie respuesta.  
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la Figura 55 que no es un sistema lineal sino un sistema cuadrático, que al optimizarlo nos da valores como los que se muestran a continuación.

### **Optimizar Respuesta**

Meta: maximizar ReCu

Valor óptimo = 98,0

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
$Fe_2(SO_4)_3$	60,0	120,	120,0
$NaNO_3$	18,0	36,0	36,0
$NaCl$	10,0	20,0	20,0

Fuente: Datos obtenidos mediante el software empleado.

De acuerdo a estos resultados que en la práctica no validan el modelo, se selecciona el modelo de diseño factorial central compuesto rotacional y metodología superficie de respuesta de segundo orden, definido por la ecuación [15]. Para este modelo, se toma las mismas variables con un ligero ajuste en el valor de dosificación de los reactivos, tal como se muestra en la Tabla 29.

### **Tabla 29**

*Factores y variable respuesta del DCCR*

<b>Factores</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Unidad</b>
$Fe_2(SO_4)_3$	40	80	g/L	$R_{Cu}$	%
$NaNO_3$	15	30	g/L		
$NaCl$	20	40	g/L		

Fuente: Elaboración propia.

La matriz para la lixiviación de cobre a partir de los sulfuros de la mena de baja ley se muestra en la Tabla 30. El Diseño compuesto central:  $2^3 = 8$  +estrella = 8 + 6 +3 repeticiones en el centro haciendo un número de

17 pruebas. El diseño se ejecutó en un solo bloque. El orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado lo cual aportará protección contra el efecto de variables ocultas.

**Tabla 30**

*Matriz del diseño DCC a escala natural*

<b>Código Prueba</b>	<b>Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> g/L</b>	<b>NaNO<sub>3</sub> g/L</b>	<b>NaCl g/L</b>	<b>R<sub>Cu</sub> %</b>
NL001	80	15	40	80,4
NL002	60	9,88655	30	55,6
NL003	93,6359	22,5	30	83,4
NL004	60	22,5	13,1821	56,3
NL005	40	30	40	74,6
NL006	40	30	20	59,4
NL007	80	30	40	82,5
NL008	80	15	20	64,5
NL009	40	15	40	78,7
NL010	80	30	20	64,4
NL011	60	35,1134	30	70,5
NL012	60	22,5	46,8179	84,6
NL013	26,3641	22,5	30	58,7
NL014	40	15	20	50,2
NL015	60	22,5	30	68,7
NL016	60	22,5	30	70,6
NL017	60	22,5	30	71,5

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de esta data con la ayuda del software Statgraphic Centurion XVII.2 se muestra en la Tabla 31 que muestra la ortogonalidad de las variables principales.

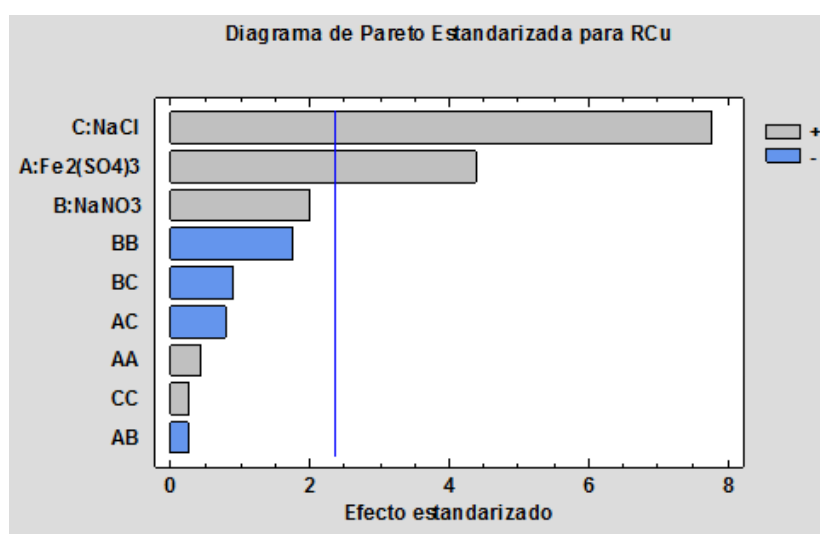
**Tabla 31**

*Efectos estimados para RCu (%)*

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	70,1841	2,50828	
A:Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	10,3157	2,35581	1,0
B:NaNO <sub>3</sub>	4,70952	2,35582	1,0
C:NaCl	18,349	2,35582	1,0
AA	1,12247	2,59291	1,15571
AB	-0,775	3,07802	1,0
AC	-2,425	3,07802	1,0
BB	-4,5344	2,59292	1,15571
BC	-2,775	3,07802	1,0
CC	0,698213	2,59292	1,15571

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de Pareto (Figura 56) indica gráficamente, que en el proceso de lixiviación es significativo el cloruro de sodio seguido del sulfato férrico, para una significancia del 95 %.



*Figura 56. Diagrama de Pareto al 95 % de confianza.*

Fuente: Elaboración propia.

El estadístico  $R^2$  (ANAVA, Tabla 32) indica que el modelo, así ajustado, explica el 92,76 % de la variabilidad en  $R_{Cu}$ . El estadístico  $R^2$  ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es de 83,46 %, valores considerados aceptables.

**Tabla 32**

*Análisis de Varianza para  $R_{Cu}$  - Lixiviación de cobre con sales*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	363,322	1	363,322	19,17	0,0032
B:NaNO <sub>3</sub>	75,7258	1	75,7258	4,00	0,0857
C:NaCl	1149,52	1	1149,52	60,67	0,0001
AA	3,55096	1	3,55096	0,19	0,6781
AB	1,20125	1	1,20125	0,06	0,8084
AC	11,7612	1	11,7612	0,62	0,4566
BB	57,9472	1	57,9472	3,06	0,1238
BC	15,4013	1	15,4013	0,81	0,3973
CC	1,37394	1	1,37394	0,07	0,7955
Error total	132,639	7	18,9484		
Total (corr.)	1833,33	16			
$R^2 = 92,76 \%$					
$R^2$ (ajustada por g.l.) = 83,46 %					

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, mediante el uso del software Statgraphics Centurion XVII.2 se procedió a determinar el modelo matemático correspondiente a este diseño con variables reales, el cual resulta ser el siguiente:

$$R_{Cu} = -18,9765 + 0,3295*Fe_2(SO_4)_3 + 2,8377*NaNO_3 + 1,488*NaCl + 0,0014*Fe_2(SO_4)_3^2 - 0,0026*Fe_2(SO_4)_3*NaNO_3 - 0,006*Fe_2(SO_4)_3*NaCl - 0,040*NaNO_3^2 - 0,0185*NaNO_3*NaCl + 0,00349*NaCl^2 \quad [20]$$

La Figura 57 muestra de manera gráfica que el factor que tiene mayor pendiente es el cloruro de sodio que el sulfato férrico, por lo que tiene mayor significancia en el proceso de lixiviación de los sulfuros de cobre presentes en la mena en estudio. También indica que el nitrato de sodio está en el nivel mínimo, debiendo maximizarse hasta llegar al óptimo, por tanto, debe controlarse su dosificación debido a que al reaccionar con el cloruro de sodio forma agua regia in situ, el cual es un compuesto muy corrosivo y muy importante en la complejación del cobre, pero evitando que se forme gases tóxicos. Entre las interacciones se puede notar que la interacción BC (nitrato-cloruro) es la más importante.

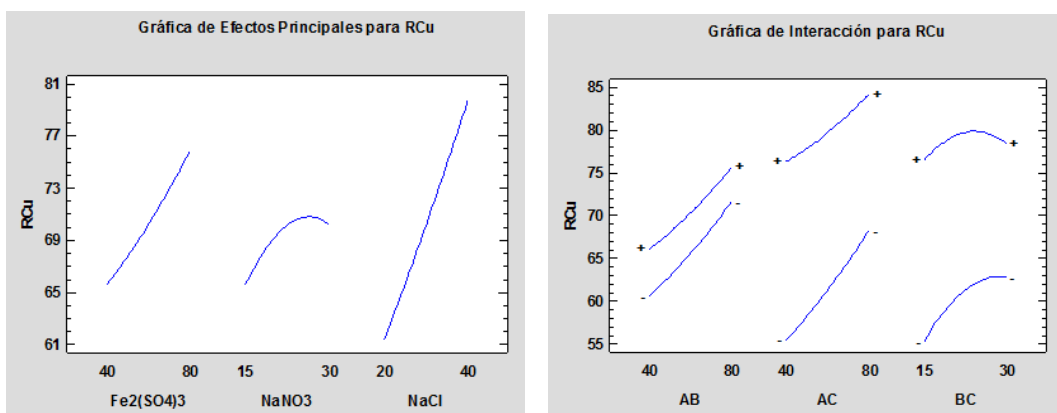


Figura 57. Gráfica de efectos principales y sus interacciones para la  $R_{Cu}$ . Fuente: Elaboración propia.

El análisis gráfico visualizado en las Figuras 58 y 59 muestra la proyección de un sistema de curvas donde la máxima recuperación de cobre se encuentra señalada por una cruz, que está dentro de la zona verdosa (77 a 81 %) obtenida de acuerdo a las condiciones experimentales de esta investigación.

Indica también que aún se puede optimizar, para alcanzar una mejora y poder validar el modelo y por consiguientes su aplicación industrial.

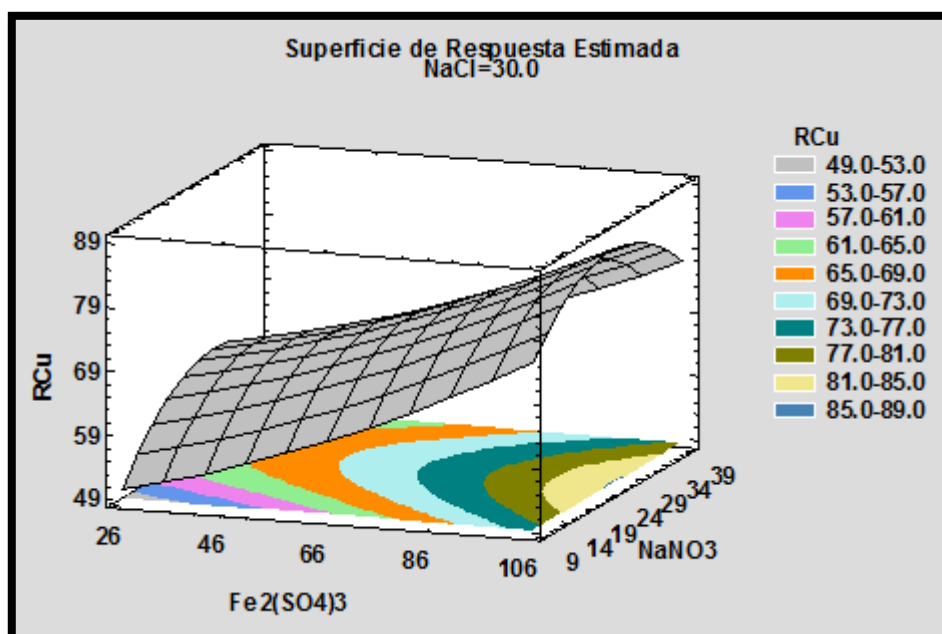


Figura 58. Superficie de respuesta del proceso de lixiviación de sulfuros de cobre con sales oxidantes en agua de mar.

Fuente: Elaboración propia, 2011.

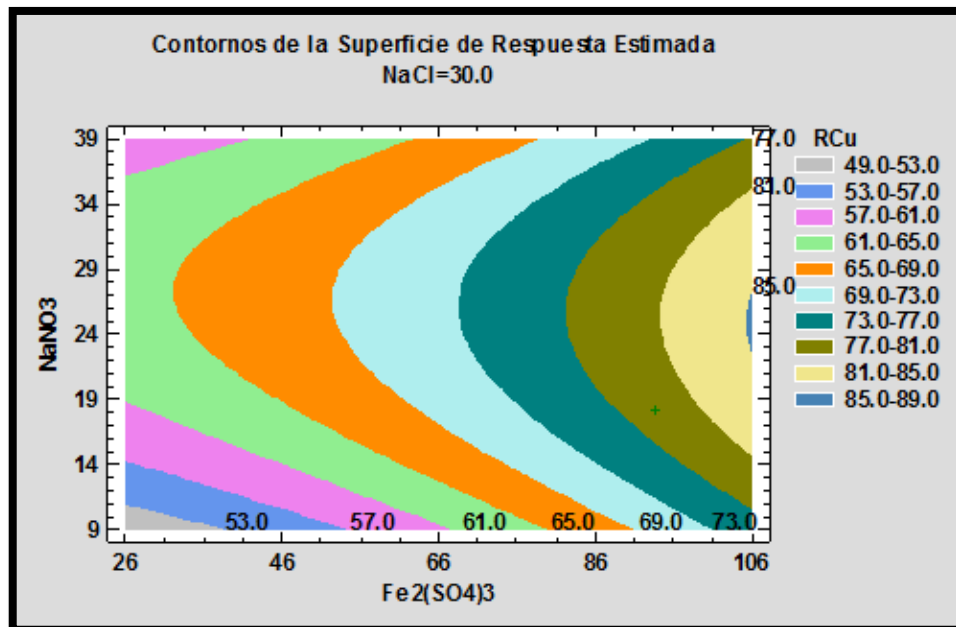


Figura 59. Contorno de la superficie de respuesta de la lixiviación de sulfuros de cobre en agua de mar.

Fuente: Elaboración propia, 2011.

Bajo este contexto, usando las bondades del Software utilizado, se ha procedido a escudriñar la posible dosificación de los tres reactivos oxidantes para lograr un valor optimizado, el cual se da a continuación:

### Optimizar Respuesta

Meta: Maximizar  $R_{Cu}$

Valor óptimo = 93,0595 %

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
$Fe_2(SO_4)_3$	26,3641	93,6359	<b>93,6</b>
$NaNO_3$	9,8865	35,1134	<b>18,2</b>
$NaCl$	13,1821	46,8179	<b>46,8</b>

Fuente: Obtenidos con el Software statgraphics centurion XVII.2.

Los resultados de cada prueba para ambos diseños experimentales, se siguió el esquema establecido y se da a manera de ejemplo una prueba, a fin de no extender demasiado la tesis, en la Tabla 33.

**Tabla 33**

*Balance metalúrgico de la prueba NL001 de lixiviación de sulfuros de cobre con agua de mar*

<b>Producto</b>	<b>Peso</b>	<b>Ley</b>	<b>Contenido metálico</b>	<b>% de distribución</b>
	<b>g</b>	<b>% Cu</b>	<b>Cu</b>	<b>Cu</b>
Cabeza	1000,00	0,65	6,5	100,00
Soln. rica	3 L	1,075 *	5,226	<b>80,40</b>
Relave	983,20	0,130	1,274	19,60

Nota \*= g/L

Fuente = Elaboración propia.

### 5.2.2.1. Validación del modelo de lixiviación de sulfuros de cobre

Un proceso siempre tiene valor cuando se lo puede replicar o repetir en el laboratorio o en la Planta Metalúrgica, entendiéndose este término como que en forma estrictamente igual va a funcionar con el mineral de cualquier yacimiento, más esto no sucede, debe investigarse para aplicarlo. En este caso, es para probar si el valor óptimo que da el modelo es posible alcanzar esta recuperación empleando la dosificación mostrada. Para ello, se han realizado tres pruebas, cuyos valores alcanzados fueron: 93,05 %,

93,03 % y 92,96 %, valores que confirman el valor óptimo. El balance metalúrgico promedio se muestra en la Tabla 34.

**Tabla 34**

*Balance metalúrgico promedio de lixiviación de sulfuros de cobre con agua de mar*

Producto	Peso	Ley	Contenido metálico	% de distribución
	g	% Cu	Cu	Cu
Cabeza	1000,00	0,650	6,500	100,00
Soln. rica	3 L	2,015 *	6,045	<b>93,01</b>
Relave	981,70	0,046	0,455	6,99

Nota \*= g/L

Fuente = Elaboración propia.

➤ **Evaluación de la cinética de lixiviación del sulfuro de cobre**

Para este fin se ha planteado la siguiente reacción general de acuerdo la teoría del núcleo sin reaccionar



Para el cálculo de la conversión (disolución)  $\alpha$ .

La masa de cobre inicial en el minera es:  $m_0 = \text{ley} \times W_{\text{muestra}}$

Masa de muestra = 1000 g

Ley = 0,65 %

$m_0 = 0,0065 \times 1000 = 6,5 \text{ g}$

V = Volumen de solución = 3 L

$w_{Cu} = [Cu] * V$ ;  $[Cu]$  = Concentración de la solución dada en g/L.

$$w_{Cu} = 3 * [Cu]$$

Luego, la masa de cobre convertida es:

$$\alpha = \frac{3 * [Cu]}{m_0} = \frac{3 * [Cu]}{6.5} = 0,4615 \left[ \frac{L}{g} \right] * [Cu]$$

La prueba se realizó en seis horas, tomándose muestra y análisis cada hora, cuyos resultados se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35**

*Datos de análisis y cálculo del valor de  $\alpha$*

Tiempo h	[g/L] Solución	Cont. Met. g de Cu	Volumen 3L	Constante 0,4615	Conversión $\alpha$
0,00	0,00	0,00			0,0000
1	0,200	0,60			0,0923
2	0,283	0,85			0,1306
3	0,333	1,00			0,1537
4	0,393	1,18			0,1814
5	0,427	1,28			0,1971
6	0,460	1,38			0,2123
Relave	0,0214 %	0,21			

Fuente: Elaboración propia, 2011.

A partir de estos datos, se presenta una ecuación general que resume el modelo de núcleo sin reaccionar, empleada para determinar la etapa controlante de la velocidad de disolución. Esta es:

$$F(\alpha) = \frac{t}{\tau} \quad [21]$$

Donde

$$F(\alpha) = \begin{cases} \alpha & \text{Difusión en la capa límite} \\ 1 - \frac{2}{3}\alpha - (1 - \alpha)^{2/3} & \text{Difusión a través de una capa porosa} \\ 1 - (1 - \alpha)^{1/3} & \text{Reacción química} \\ 1 - 3(1 - \alpha)^{2/3} + 2(1 - \alpha) & \text{Difusión en la capa de ceniza (azufre)} \end{cases}$$

Con los datos experimentales de  $\alpha$  se obtiene los valores de  $F(\alpha)$  en función del tiempo, que da lugar a la Tabla 36.

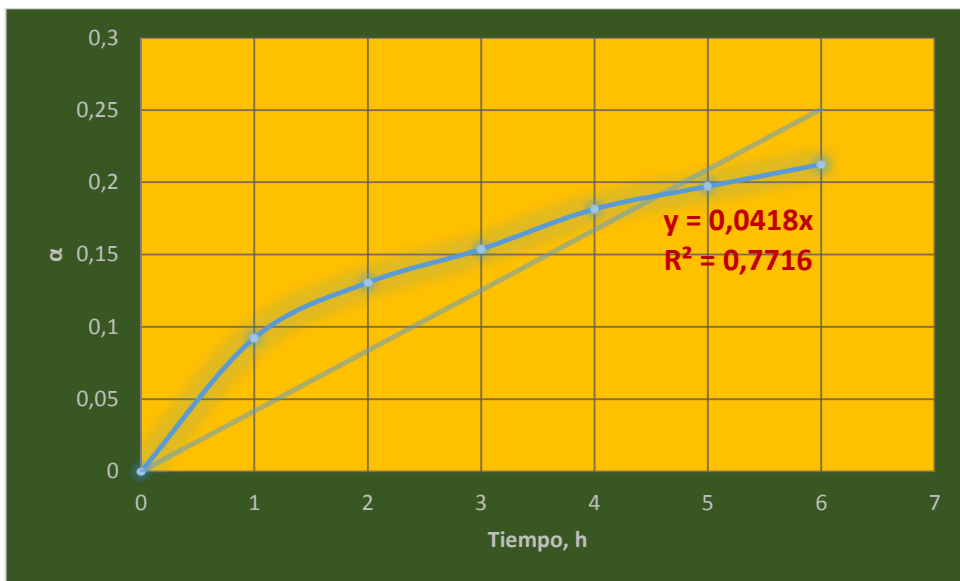
**Tabla 36**

*Valores experimentales de  $F(\alpha)$*

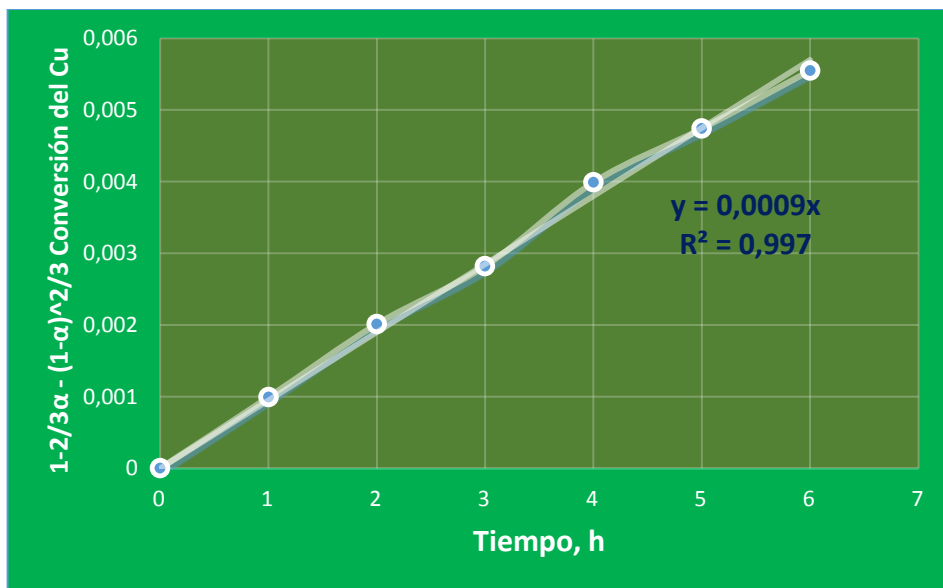
Datos		F( $\alpha$ )			
Tiempo h	Conversión $\alpha$	Capa límite	Capa porosa	Reacción química	Capa de ceniza
0	0,0000	0,0000	0,00000	0,000	0,0000
1	0,0923	0,0923	0,00099	0,032	0,0030
2	0,1306	0,1306	0,00201	0,046	0,0060
3	0,1537	0,1537	0,00282	0,054	0,0085
4	0,1814	0,1814	0,00399	0,065	0,0120
5	0,1971	0,1971	0,00474	0,071	0,0142
6	0,2123	0,2123	0,00555	0,076	0,0166

Fuente: Elaboración propia, 2011

La representación gráfica de los resultados de  $F(\alpha)$  con el tiempo  $t$  para cada modelo se muestran a continuación las Figuras 60, 61, 62 y 63.



*Figura 60.* Difusión en la capa límite.  
Fuente: Elaboración propia.



*Figura 61.* Difusión a través de una capa porosa.  
Fuente: Elaboración propia.

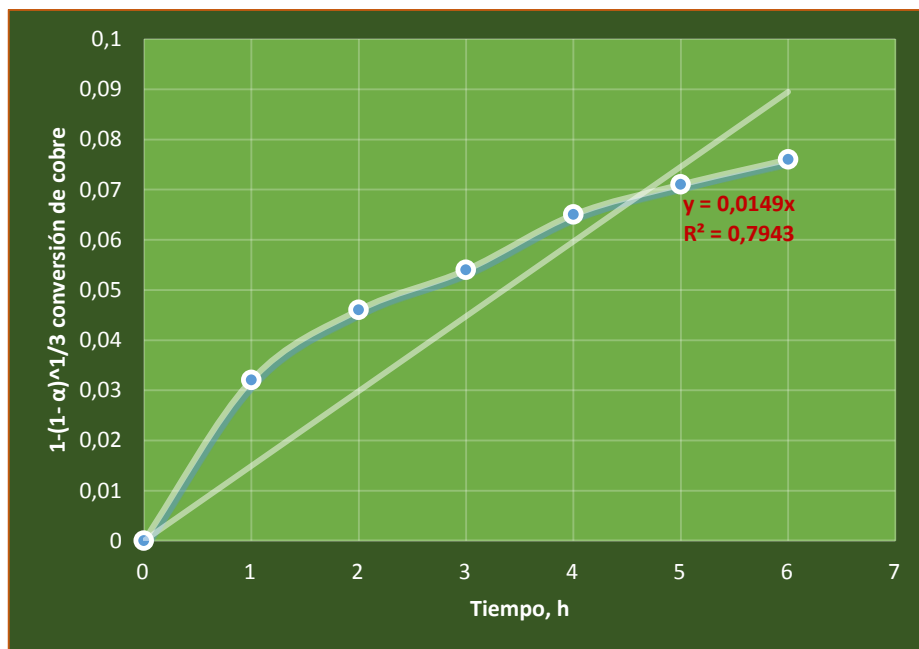


Figura 62. Reacción en la superficie del grano de sulfuro.  
Fuente: Elaboración propia.

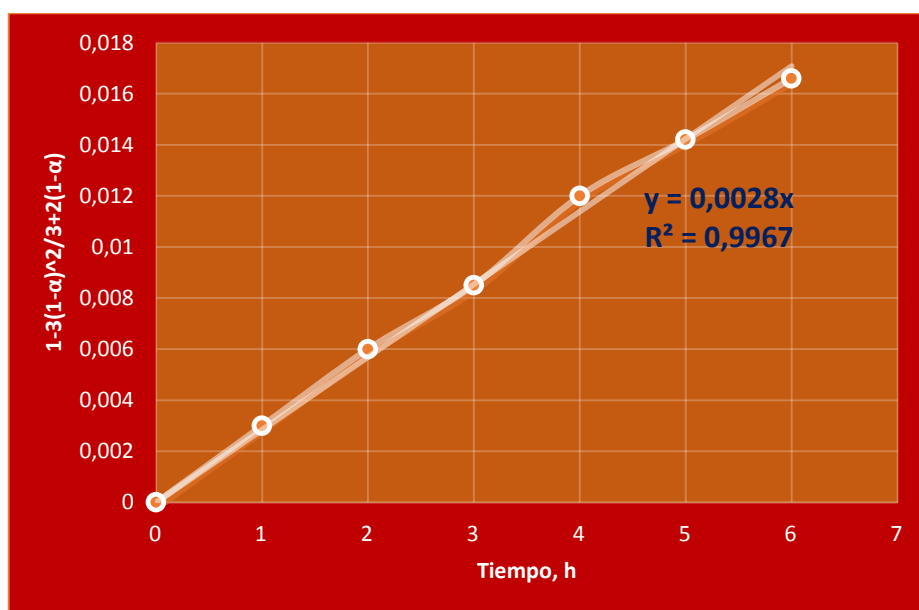


Figura 63. Difusión a través de una capa de ceniza.  
Fuente: Elaboración propia.

Se puede notar que el modelo controlante es la difusión (Figura 61 y Figura 63) a través de capa porosa o ceniza que en este caso es el azufre formado.

La recta de regresión correspondiente para difusión a través de la capa porosa está dada por:

$$F(\alpha) = 0,0009 * t$$

$$R^2 = 0,997$$

Luego el tiempo para la conversión total ( $\alpha = 1$ ) es:

$$\tau = \frac{1}{0,0009} = 1\ 111\ h \cong 46\ d$$

La recta de regresión correspondiente para difusión a través de la capa de ceniza o azufre está dada por:

$$F(\alpha) = 0,0028 * t$$

$$R^2 = 0,9967$$

Luego el tiempo para la conversión total ( $\alpha = 1$ ) es:

$$\tau = \frac{1}{0,0028} = 357\ h \cong 15\ d$$

#### **5.2.2.2. Análisis de lixiviación de sulfuros de cobre con agua de mar**

Este valor obtenido valida que los resultados obtenidos con el diseño experimental central compuesto rotacional se pueden replicar para cada

mineral sulfuro y óxidos de cobre con el que se experimente en forma específica, y cumple con el objetivo específico, de que sí se puede lixiviar sulfuros de cobre en agua de mar sin desalinizar utilizando sales oxidantes para obtener el Cloruro Cu (II) ( $\text{CuCl}_2$ ) en solución acuosa bajo la denominación de Proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup>.

Las posibles consecuencias ambientales que pueda ocasionar el Proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup> quedan pendientes para un posterior estudio de investigación, aunque ya se considera un proceso ecológico, por cuanto, los residuos contienen productos estabilizados. Se debe remarcar que es una alternativa viable y casi ya obligatoria que deben tener en cuenta las empresas mineras que están operando en esta región y las que pretendan instalarse, por cuanto el cambio climático, no será dejado de tener en cuenta en cualquier proyecto productivo y poblacional que se pretenda en el futuro, porque la escasez de agua dulce se irá incrementando año a año.

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **6. Discusión de resultados**

##### **6.1. Discusión global de la investigación**

En concordancia al diseño de investigación mixta exploratoria y secuencial en su primera fase (investigación cualitativa) se encuentra que las empresas mineras legalmente establecidas sí han implementado la responsabilidad social empresarial con ayudas en los diversos rubros de capacitación, de mejora de canales, mejora de colegios, mejora de centros de salud, mejoras del ganado alpaquero en fibra de lana y carne, lo cual constituye una mejora en el desarrollo sostenible de las familias y comunidades altoandinas.

De acuerdo a las entrevistas, se encuentra una población comunera altoandina dividida, a favor de la minería aquellos que reciben beneficios de la ayuda minera y en contra de aquellos que no reciben o no están conformes porque consideran que es muy poco lo que la minería da, otros

que sólo desean que se les devuelva el agua para su agricultura porque no necesitan de la minería y otros que muestran una clara tendencia antiminera y rechazan la minería en esta zona. Esta situación de divergencias entre los dirigentes y autoridades de los pueblos altoandinos como Candarave, sus distritos y comunidades debilita su accionar en una mesa de diálogo que al final siempre termina desactivándose y sin conseguir poco o nada hasta estos tiempos.

La solución es que las empresas mineras reorienten sus recursos de responsabilidad social a la formación de pequeñas empresas o PYMES, mediante un sistema diferente, es decir, poner en práctica el sistema clúster que propone Ever Solano Oyarce en su tesis doctoral (UNMSM, 2012) y de Cecilia Horna y Augusto Chung en su tesis de maestría (PUC, 2009). Dos enfoques diferentes pero con la misma finalidad de innovar la responsabilidad social y minimizar los conflictos socio-económico-ambientales de la zona en estudio y permitan la instalación de nuevos proyectos mineros, que practiquen una minería responsable y transparente, desde el inicio.

En la segunda fase de investigación (investigación cuantitativa) es experimental en cada proceso propuesto como el denominado Proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup> como alternativa de solución al desenganche que existe

en los pueblos y comunidades altoandinas de Tacna, para lograr una mejora en la convivencia con la minería, siempre en cuando se devuelva el agua que se les ha concedido a las mineras (dentro de ellas la compañía minera Southern Peru) y que en el futuro tengan que tomar la opción de utilizar el agua de mar desalinizada y sin desalinizar, según convenga.

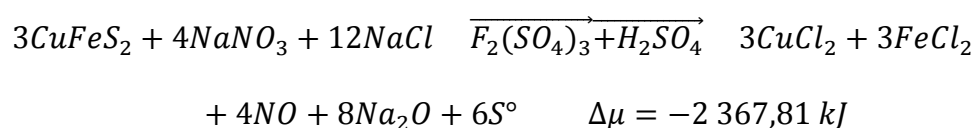
Con el diseño experimental llevado a cabo para la propuesta de concentrar el mineral valioso de la mena de Cu-Mo, a nivel de laboratorio, en la comprobación del modelo que de hecho lo valida, por cuanto se ha logrado recuperaciones del 93,2 % de Cu y 81,22 % de Mo, proceso que lo hace competitivo frente al actual proceso de flotación que practica Southern Peru en la Concentradora Toquepala, cuyas recuperaciones son ligeramente menores utilizando agua dulce y que por consiguiente consiste en una mejora en la tecnología de flotación de minerales.

Del mismo modo, se ha llevado a cabo el estudio experimental para la propuesta de lixiviar menas sulfuro de cobre de baja ley con sales oxidantes (sulfato férrico, nitrato de sodio y cloruro de sodio) con agua de mar sin desalinizar como medio acuoso, a nivel de laboratorio, denominado Proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup>, donde las pruebas de validación del modelo, se logra obtener una recuperación real del 93,01 % de Cu, lo cual también lo hace competitivo frente a la lixiviación acido-bacteriana, y es más, a que del PLS obtenido se puede recuperar todos los elementos que contenga la

mena, como la plata, el oro, el molibdeno, etc., aplicando la separación selectiva de extracción por solventes y/o resinas, que también se cuenta con nuevos extractantes (líquidos y sólidos) de gran selectividad.

En consecuencia, el Proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup> es una tecnología que se pone a consideración de las empresas mineras para explotar minerales de yacimientos que se encuentren ubicados en zonas desérticas como lo es Tacna, sur de País, la cual permitiría la aceptación de la minería mejorando por consiguiente la responsabilidad social empresarial minera y, por ende, la sostenibilidad en términos de desarrollo sostenible de los pueblos y comunidades altoandinas de Tacna.

El Proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup> obedece a la siguiente reacción química global:



Esta reacción, termodinámicamente es espontánea y no requiere energía externa para su formación a temperatura ambiente (25 °C).

## **6.2. Contrastación de hipótesis**

### **6.2.1. Contrastación de la hipótesis principal**

“La propuesta técnica de procesamiento de minerales utilizando agua de mar mejora la responsabilidad social y sostenibilidad de las comunidades altoandinas aledañas a un asiento minero en la región Tacna”.

**Ho:** La propuesta técnica de procesamiento de minerales utilizando agua de mar mejora la responsabilidad social y sostenibilidad de las comunidades altoandinas aledañas a un asiento minero en la región Tacna.

**Ha:** La propuesta técnica de procesamiento de minerales utilizando agua de mar no mejora la responsabilidad social y sostenibilidad de las comunidades altoandinas aledañas a un asiento minero en la región Tacna.

En concordancia de los resultados obtenidos en la propuesta técnica de procesamiento de minerales utilizando agua de mar sin desalinizar, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula.

### **6.2.2. Contrastación de la hipótesis secundaria**

“La implementación de la RSE disminuye los conflictos socio-ambientales y la aceptación de la explotación minera responsable”.

**H'o:** La implementación de la RSE disminuye los conflictos socio-ambientales y la aceptación de la explotación minera responsable.

**H'a:** La implementación de la RSE no disminuye los conflictos socio-ambientales y la aceptación de la explotación minera responsable.

En concordancia con el resultado de la investigación cualitativa exploratoria, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula.

## CONCLUSIONES

1. Queda demostrado que la propuesta técnica de procesamiento de minerales utilizando agua de mar es factible y que al ser aplicada por las mineras, mejorará la responsabilidad social empresarial que hará sostenible el desarrollo de las comunidades altoandinas de Tacna.
2. La sostenibilidad de la comunidades altoandinas se verán favorecidas en cuanto la responsabilidad social minera sea efectiva, racional y no paternalista ni mucho menos filantrópica con presencia efectiva del Estado y será mejorada en la medida que las empresas mineras comiencen a utilizar el agua de mar en sus procesos productivos en el campo del procesamiento de minerales.
3. La responsabilidad social empresarial (RSE) ha sido implementada de acuerdo a normas por las mineras, pero poco aceptada por las comunidades debido a que la consideran injusta, porque beneficia a unos pocos, no desarrolla proyectos de envergadura que satisfaga necesidades de las mayorías, ni tampoco compensa a los impactos que en su mayoría son negativos, generados debido a la casi nula presencia

del Estado quien tiene la responsabilidad de dar mantenimiento de cualquier obra realizada por la ayuda de las mineras, con presupuesto.

4. Se ha demostrado a nivel de laboratorio que es posible flotar sulfuros de cobre y otros minerales en agua de mar sin desalinizar, debido al avance en la mejora de la calidad de los reactivos de flotación, que permiten alcanzar recuperaciones competitivas de cobre y molibdeno en este caso.
5. Se ha logrado lixiviar sulfuros de cobre y otros minerales con sales oxidantes como el sulfato férrico, nitrato de sodio y el cloruro de sodio a nivel de laboratorio, usando agua de mar sin desalinizar, logrando recuperaciones aceptables de cobre a partir de menas con alto contenido de calcopirita que caracteriza la mineralogía de cobre en esta región, dando lugar al denominado Proceso NiSuC-Seawater<sup>(N)</sup>.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda a los investigadores de la ESPG de Ciencias Ambientales continuar con los estudio de impacto ambiental que podría ocasionar el uso del agua de mar sin desalar en los procesos minero-metalúrgicos en esta región desértica del país.
2. Que las autoridades ambientales junto a la oficina regional de minería de la Región Tacna den los lineamientos adecuados para que las mineras instaladas o por instalarse comiencen los estudios específicos para usar el agua de mar desalinizada o sin desalinizar en sus operaciones extractivas de minerales y metales.
3. Se recomienda a las empresas mineras y al Estado conformen mesas de diálogo que conlleven a encontrar soluciones a los conflictos de cualquier índole relacionado con la explotación minera de modo que se pueda alcanzar un desarrollo que sea sostenible después que las minas cierren sus operaciones.
4. Se recomienda a las autoridades locales solicitar una mayor presencia del Estado en la solución de las necesidades de los pueblos y comunidades altoandinas de la región Tacna, y lleven a cabo todas las

acciones pertinentes al gobierno regional en mejora de la calidad de vida de estos pueblos y comunidades altoandinas.

5. Se recomienda a la ESPG/UNJBG apoyar al autor del proceso NiSuC-Seawoter<sup>(N)</sup> para lograr patentarlo, por ser un proceso de innovación tecnológica de obligada aplicación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS

Boersema, Jan J. (2009). *Principles of environmental Sciences*. Springer. University Amsterdam. The Netherlands.

Bulatovic, S.M. (2007). *Handbook of flotation reagents. Chemistry, theory and practice: Flotación of sulfide ores*. Publisher: Elsevier Science & Technology Books. Volume 1.

Carrasco D, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Editorial San Marcos. Lima.

Creswell, J. W. & Plano-Clark, V. L. (2007). *Designing and conducting mixed methods research*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Daly, H.E. (2008). *Desarrollo sustentable definiciones, principios, políticas*. University of Maryland. Traducido por Martínez, Enrique E. INTI.

Harmsen, J; Powell, J. B. (2010). **Sustainable Development in the Process Industries cases and impact**. Editado por John Wiley & Sons, Inc. New York.

Hernández, R.; Fernández, C., y Baptista, M. (2010). **Metodología de la Investigación**. Quinta Edición. McGraw Hill. México.

Kelly, E.G. and Spottiswood, D.J. (1982). **Introduction to Mineral Processing**. Wiley –Inter Science Publication, John Wiley & Sons, New York, NY.

Leff, E, Ezcurre, E. (2003). **La transferencia hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América latina y el Caribe**. México.

León C, C. (2001). **Guía de relaciones comunitarias**. Editado por Asociación Prisma. Perú.

Matis, K. (1995). **Flotation Science and Engineering**. Edited by: K. A. Matis.

Wills, B and Napier-Munn, T. (2006). **Mineral Processing Technology - An Introduction to the practical Aspects of Ore Treatment and Mineral**. Seventh Edition. Elsevier Science & Technology Books.

## PÁGINAS WEB

Acuña C, A. (2009). **Conceptos básicos sobre medio ambiente y desarrollo sustentable.** Recuperado de [http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/title/conceptos-basicos-medio-ambiente-desarrollo-sustentable/id/37646124.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/conceptos-basicos-medio-ambiente-desarrollo-sustentable/id/37646124.html)

Álvarez-Campana G, J. M y Erias R, A. (2008). **Minería sostenible: ¿una contradicción o una contribución a un modelo de construcción más sostenible?** Recuperado de <http://iseadsguaya.files.wordpress.com/2008/05/mineria-sostenible-v10.pdf>

Arellano Y, J. (2009). **Local politics, conflict and development in Peruvian mining regions.** Thesis Doctor of Philosophy of the University of Sussex. Recuperado de [http://sro.sussex.ac.uk/6315/1/Arellano\\_Yanguas%2C\\_Javier.pdf](http://sro.sussex.ac.uk/6315/1/Arellano_Yanguas%2C_Javier.pdf)

Bafghi, M.S, Emami, A.H, Zakeri, A. and Vahdati Khaki J. (2009). **Effect of mechanical activation on the kinetics of leaching of chalcopyrite in the ferric sulfate media.** Recuperado de: <http://ijmse.iust.ac.ir/article-1-258-en.pdf>

Ballester, A y Córdoba, E. (2005). ***Hidrometalurgia de la calcopirita.***

Universidad Complutense de Madrid, España. Recuperado de:  
<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/biohidro/Publicaciones%20del%20Grupo/Hydrocopper%202005.pdf>

Bautista A, M. (2011). ***Manual de participación ciudadana.*** Proyecto

Percan. Recuperado de  
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Manual%20de%20Participaci%C3%83%C2%B3n%20Ciudadana.pdf>

Carballo P, A. (2010). ***Utilidad de la huella ecológica y del carbono en***

***el ámbito de la responsabilidad social corporativa (RSC) y el ecoetiquetado de bienes y servicios.*** Recuperado de  
<http://www.eumed.net/rev/delos/08/>

Carrillo-Pedraza et al. (2005). ***Oxidation hidrometallurgy of sulphides***

***minerals. Universidad Autónoma de Coahuila. México.***  
Recuperado de: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/32749.pdf>.

Castillo, G y Ávila, L. (2009). ***La participación ciudadana en la minería***

***peruana: Concepciones, mecanismos y casos.*** Recuperado de  
<http://extractivismo.com/wp->

content/uploads/2016/06/InformeParticipacionMineraOxfam2009.pdf

Castillo, G. (2009). **Conceptos de participación ciudadana en la minería peruana.** Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/47455/castillo.pdf?sequence=1>

CEPAL-OCDE. (2016). **Evaluaciones de desempeño ambiental Perú.** Recuperado de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40171/S1600313\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40171/S1600313_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Chadwick, J. (2008). **Water is becoming a critical issue to all worldwide, not least the mining industry.** International Mining. Recuperado de [http://www.mcilvainecompany.com/Decision\\_Tree/subscriber/Tree/DescriptionTextLinks/Chadwick2008u.pdf](http://www.mcilvainecompany.com/Decision_Tree/subscriber/Tree/DescriptionTextLinks/Chadwick2008u.pdf)

Chaparro A, E. (2009). **Los procesos mineros y su vinculación con el uso del agua.** Recuperado de

[http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Eduardo\\_Chaparro\\_agua\\_y\\_mineria.pdf](http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Eduardo_Chaparro_agua_y_mineria.pdf)

Echevarría, C. (2001). ***Reflexión sobre el sentido de territorio para los pueblos indígenas en el contexto del ordenamiento territorial y el desarrollo minero.*** Recuperado de <http://idlbnc.idrc.ca/dspace/bitstream/10625/31833/1/117224.pdf>

Eckhard, K. (2009). ***Empresas Mineras y población: estrategias de comunicación y relacionamiento.*** Esam ediciones. Recuperado de <http://www.esan.edu.pe/publicaciones/2011/02/25/mineria-y-poblacion.pdf>.

Fetters, M.D; Curry, L. A; and Creswell, J. W. (2013). ***Achieving Integration in Mixed Methods Designs-Principles and Practices.*** Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/258953599\\_Achieving\\_Integration\\_in\\_Mixed\\_Methods\\_Designs-Principles\\_and\\_Practices](https://www.researchgate.net/publication/258953599_Achieving_Integration_in_Mixed_Methods_Designs-Principles_and_Practices)

Gaete A, S. (2013). ***Uso de agua de mar en concentradora Centinela.*** Recuperado de <http://docplayer.es/14414012-Uso-de-agua-de-mar-en-concentradora-sergio-gaete-angel-gerente-desarrollo.html>

García C, Á. (2003). **Minería y desarrollo sostenible**. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España.

GERALD O. ONYEDIKA, A. C. ACHUSIM-UDENKO, C. I. A. NWOKO and M. O. C. OGWUEGBU. (2012). **Chemistry, processes and problems of complex ores utilization: hydrometallurgical options**. Recuperado de file:///D:/PROIN/CHEMISTRY\_PROCESSES\_AND\_PROBLEMS\_OF\_COMP.pdf

Gonzales L, A. (2006). **Los retos de la investigación cualitativa ¿Qué camino?** Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Recuperado de <http://elmechs.fahce.unlp.edu.ar/iv-elmechs/GonzalezPONmesa03.pdf>

Gutiérrez M, M; Gutiérrez M, E. (2006). **Desarrollo sostenible**. Universidad de Sevilla. Recuperado de [http://institucional.us.es/revistas/universitaria/extra2006/art\\_12.pdf](http://institucional.us.es/revistas/universitaria/extra2006/art_12.pdf)

Hernández S, R. (2011). **Ampliación y fundamentación de los métodos mixtos**. Capítulo 12. Recuperado de <http://es.slideshare.net/conyas16/sampieri-metodos-mixtos>

Hietala, K, Hyvärinen, O. (2003). **HydroCopper™ – A new technology for copper production**. Peth, Australia, 22 – 23 may, 2003. Recuperado

de

<http://www.minproc.pwr.wroc.pl/zpkio/pdf/KowalczukChmielewski2008.pdf>

Hu, W. (2014). **Flotation circuit optimization and design**. PhD Thesis.

Imperial College London. Recuperado de

<https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/24805/1/Hu-W-2015-PhD-Thesis.pdf>

Ipinza, J; Ibáñez, J. (2014). **Agua de mar y soluciones cloruradas en**

**hidrometalurgia del cobre**. INNOVACIÓN: Recuperado de

<http://ecitecno.cl/agua-de-mar-y-soluciones-cloruradas-en-la-hidrometalurgia-del-cobre-2/>

Jenkins, H. (2004). **Corporate Social Responsibility and the Mining**

**Industry: Conflicts and Constructs**. Corporate Social

Responsibility and Environmental Management. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/27649516\\_Corporate\\_Social\\_Responsibility\\_and\\_the\\_Mining\\_Industry\\_Conflicts\\_and\\_Constructs](https://www.researchgate.net/publication/27649516_Corporate_Social_Responsibility_and_the_Mining_Industry_Conflicts_and_Constructs)

Kawatra, S.K- 2010. **Flotation fundamentals**. Recuperado de [http://www.chem.mtu.edu/chem\\_eng/faculty/kawatra/Flotation\\_Fundamentals.pdf](http://www.chem.mtu.edu/chem_eng/faculty/kawatra/Flotation_Fundamentals.pdf)

**Ley de política nacional de población, Decreto Legislativo N° 346.**

Recuperado de [http://www.mimp.gob.pe/webs/mimp/sispod/ley\\_politica\\_nacional\\_de\\_poblacion.pdf](http://www.mimp.gob.pe/webs/mimp/sispod/ley_politica_nacional_de_poblacion.pdf)

López C, E. (2006). **Medio ambiente y minería, una paradoja del desarrollo sostenible: estudio de caso y gestión de recursos naturales en la comunidad de Santa Rosa, provincia Poopó – Oruro**. Tesis de maestría en ciencias sociales con mención en: Gestión Ambiental y Desarrollo. Centro Bartolomé de las Casas. Colegio Andino – Escuela Andina de Postgrado. Recuperado de <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/1736/4/TFLA-CSO-2006ELC.pdf>

López, F. y Salas, H. (2009). **La Investigación Cualitativa en Administración**. Disponible en <http://www.facso.uchile.cl/publicaciones/moebio/35/lopez.pdf>. Pag. 133.

López J, C. (s.f). ***Gestión de la minería sostenible***. Comunidad de Madrid.

Recuperado de

[http://ingenierosdeminas.org/documentos/Gestion%20Minera%20Sostenible/CONFERENCIA%20INAUGURAL-lopez\\_jimeno.pdf](http://ingenierosdeminas.org/documentos/Gestion%20Minera%20Sostenible/CONFERENCIA%20INAUGURAL-lopez_jimeno.pdf)

Lowe, D.F. (1970). ***The kinetics of the dissolution reactions of copper and copper-iron sulfide minerals using ferric sulfate solutions***.

Thesis Doctoral. University of Arizona. Recuperado de

[http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/287485/1/azu\\_td\\_7018175\\_sip1\\_m.pdf](http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/287485/1/azu_td_7018175_sip1_m.pdf)

MINAM. 2010. ***Defensa de los derechos ambientales y derechos de los***

***pueblos indígenas***. COMPENDIO DE LA LEGISLACIÓN

AMBIENTAL PERUANA. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/>.

Miroslav Sokić<sup>1\*</sup>, Slobodan Radosavljević<sup>1</sup>, Branislav Marković, Vladislav

Matković<sup>1</sup>, Nada Štrbac, Željko Kamberović, Dragana Živković.

2014. ***Influence of chalcopyrite structure on their leaching by***

***sodium nitrate in sulphuric acid***. Disponible en

[http://metalurgija.org.rs/mjom/vol20/No1/6\\_Sokic\\_MME\\_2001.pdf](http://metalurgija.org.rs/mjom/vol20/No1/6_Sokic_MME_2001.pdf).

Montes V, J. (2008). ***Ecoeficiencia: una propuesta de responsabilidad ambiental empresarial para el sector financiero colombiano.***

Tesis de grado para optar al título de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

Recuperado de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8963/tesisUPV3385.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno, P. A, et al. (2011). ***The use of seawater as process water at Las Luces copper–molybdenum beneficiation plant in Taltal*** (Chile).

Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/251602326\\_The\\_use\\_of\\_seawater\\_as\\_process\\_water\\_at\\_Las\\_Luces\\_copper-molybdenum\\_beneficiation\\_plant\\_in\\_Taltal\\_Chile](https://www.researchgate.net/publication/251602326_The_use_of_seawater_as_process_water_at_Las_Luces_copper-molybdenum_beneficiation_plant_in_Taltal_Chile)

Mosweu, G. (2014). ***A study of flotation and leaching behaviour or bornite and chalcopyrite.*** Thesis. Queen's University. Kingston,

Ontario, Canada. Recuperado de

[https://qspace.library.queensu.ca/bitstream/1974/8551/5/Thesis\\_Gabotswane\\_201401\\_MASC.pdf](https://qspace.library.queensu.ca/bitstream/1974/8551/5/Thesis_Gabotswane_201401_MASC.pdf)

Muzenda, E. (2010). ***An Investigation into the Effect of Water Quality on***

***Flotation Performance.*** Recuperado de

<http://waset.org/publications/11755/an-investigation-into-the-effect-of-water-quality-on-flotation-performance>

Nguyen, A. (2013). ***Physics and engineering of flotation.*** University of

Queensland. Recuperado de [http://www.tj.kyushu-](http://www.tj.kyushu-u.ac.jp/leading/en/pdf/ga_reku002_eng.pdf)

[u.ac.jp/leading/en/pdf/ga\\_reku002\\_eng.pdf](http://www.tj.kyushu-u.ac.jp/leading/en/pdf/ga_reku002_eng.pdf)

Oblasser, A. (2016). ***Estudio sobre lineamientos, incentivos y***

***regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros***

***(PAM), incluyendo cierre de faenas mineras Bolivia (Estado***

***Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú.*** Recuperado de

<http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40475/S160068>

[0\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40475/S160068_0_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Quijandría, G. (2005). ***Los retos de la minería moderna.*** Recuperado de

<http://www.comexperu.org.pe/media/files/revista/Mayo05/portada.p>

[df](http://www.comexperu.org.pe/media/files/revista/Mayo05/portada.pdf)

Quevedo U, H. A. (2006). ***Métodos estadísticos para la ingeniería***

***ambiental y la ciencia.*** Recuperado de

<http://bivir.uacj.mx/LibrosElectronicosLibres/UACJ/ua00001.pdf>

Quintana P, A. (2006). **Metodología de la investigación científica cualitativa.** Recuperado de

<http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/267/3634305-Metodologia-de-Investigacion-Cualitativa-A-Quintana.pdf>

Quispe LI, R. (2008). **INEI. Censos nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda.** Recuperado de

[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf)

Ramos, O. Castro, S. Laskowski, J.S. (2013). **Copper–molybdenum ores flotation in seawater: Floatability and frothability.** Recuperado de

[http://www.enm.ucn.cl/intranet\\_enm\\_ucn/claroline1107/programas/APMMGM8/document/Copper-molybdenum\\_ores\\_flotation\\_in\\_sea\\_water\\_Flotability\\_and\\_frothability\\_2013.pdf](http://www.enm.ucn.cl/intranet_enm_ucn/claroline1107/programas/APMMGM8/document/Copper-molybdenum_ores_flotation_in_sea_water_Flotability_and_frothability_2013.pdf)

Richards, J. (2002). **Sustainable development and the Mineral Industry.**

University of Alberta. Canada. Society of Economic Geologist, N° 48.

Recuperado de

<http://www.dundee.ac.uk/cepmlp/journal/html/Vol13/article13-10.pdf>

RIDES, CEPAL, CONAF. 2006. **La gran minería y el PAS PUNA.**

Recuperado de

<http://www.ceda.org.ec/descargas/biblioteca/La%20Gran%20Mineria%20y%20el%20PAS%20Puna.pdf>

Ríos Q, L. (2010). **Relaciones comunitarias para la sostenibilidad de la empresa y la comunidad.** Recuperado de [http://www.derecho.usmp.edu.pe/cedemin/materiales/2010/Lucio\\_Rios-Responsabilidad\\_Social\\_y\\_Desarrollo\\_Sostenible.pdf](http://www.derecho.usmp.edu.pe/cedemin/materiales/2010/Lucio_Rios-Responsabilidad_Social_y_Desarrollo_Sostenible.pdf)

Ruiz, M.C. (2013). **Hidrometalurgia.** Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción. Chile. Recuperado de [https://es.scribd.com/upload-document?archive\\_doc](https://es.scribd.com/upload-document?archive_doc)

Sánchez, M. (2007). **Tecnologías limpias para la industria minera.** Recuperado de [http://www2.udec.cl/alfatl/alfateclimin/documentos/cd\\_Arequipa/ArequipaTecnologiasLimpas.pdf](http://www2.udec.cl/alfatl/alfateclimin/documentos/cd_Arequipa/ArequipaTecnologiasLimpas.pdf)

Schaeffer, V. (2013). **Comunidades campesinas y Gestión del agua.** Recuperado de <http://www.cooperacion.org.pe/centrodocumentacion/00169.pdf>

Solano O, E. (2012). **Propuesta de un clúster minero para impulsar el desarrollo sostenible: un enfoque interdisciplinario.** Tesis

Doctoral UNMSM. Recuperado de  
[http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/1663/1/Solano  
oe.pdf](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/1663/1/Solano%20oe.pdf)

Sotomayor, A. (2015). **Remediación de Pasivos Ambientales Mineros.**

Recuperado de [http://www.metasbicentenario.consortio.edu.pe/wp-  
content/uploads/2015/07/Documento-Completo-Consortio-  
Universidad-A.-Sotomayor.pdf](http://www.metasbicentenario.consortio.edu.pe/wp-content/uploads/2015/07/Documento-Completo-Consortio-Universidad-A.-Sotomayor.pdf)

Tecnología minera (2015). **Unidad minera Pucamarca-MINSUR.**

Recuperado de  
<http://www.tecnologiaminera.com/tm/biblioteca/articulo.php?id=264>

Van der Lee, J. (2008). **Mining of valuable metal: in situ and heap**

**leaching.** Disponible en [http://hr.geosciences.ensmp.fr/research-  
domains/ressources/leaching.pdf](http://hr.geosciences.ensmp.fr/research-domains/ressources/leaching.pdf)

Wilson, J.P; Fisher, W.W. (1981). **Cupric chloride leaching of**

**chalcopyrite.** Journal of metals. Recuperado de  
<http://link.springer.com/article/10.1007/BF03354527>

Woodburn, E. (2000). **Flotation.** UMIST, Masachuset, UK. Recuperado de

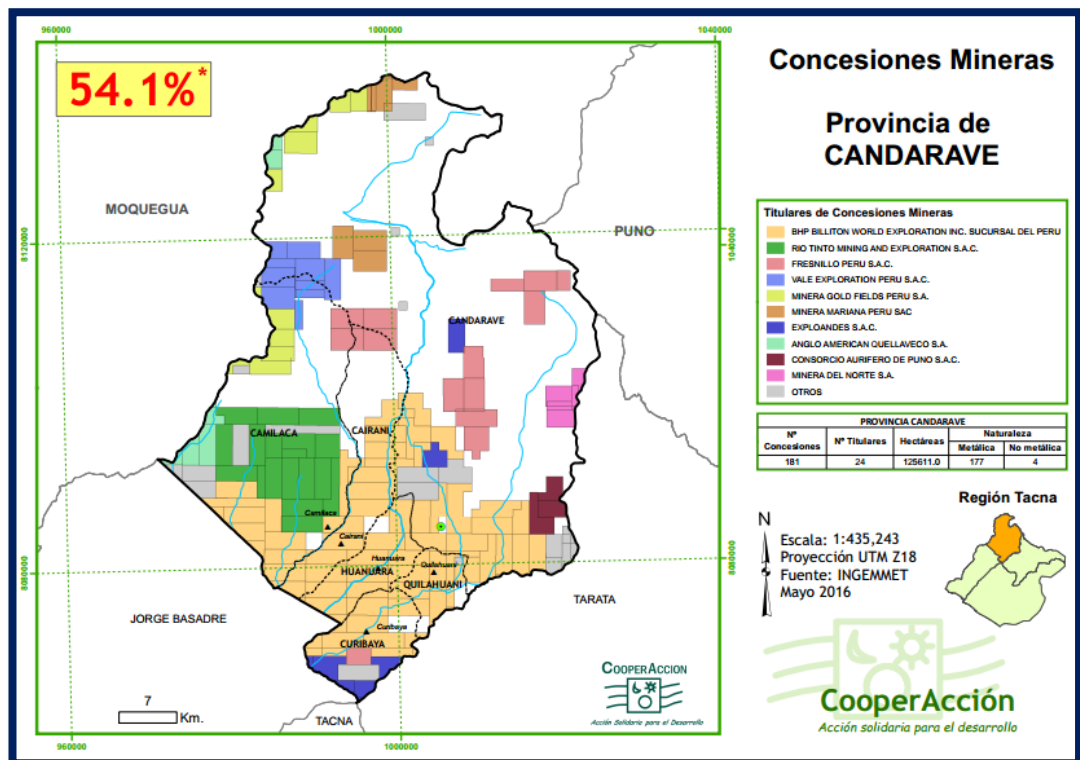
[http://cnqzu.com/library/Anarchy%20Folder/Chemistry/Crystalizatio  
n,%20Purification,%20Separation/Encyclopedia%20of%20Separati  
on%20Science/Level%20I%20-%20Overviews/FLOTATION.pdf.](http://cnqzu.com/library/Anarchy%20Folder/Chemistry/Crystalization,%20Purification,%20Separation/Encyclopedia%20of%20Separation%20Science/Level%20I%20-%20Overviews/FLOTATION.pdf)

## ANEXOS

### ANEXO I

#### Mapa de la provincia de Candarave

Mostrando las empresas mineras que tienen concesiones en su territorio.



## **ANEXO II**

### **Datos técnicos de los reactivos de flotación WIING**

#### **Colector AZ-W3500 - AZ-W3000**

Son xantoforatos líquidos de color marrón solubles en agua que reemplaza a los xantatos en la flotación de minerales, utilizándolo como colector primario en menas polimetálicas de Cu-Pb-Zn-Ag, Cu-Mo y Au-Ag. Es reconocido por su selectividad frente al Fe y Zn no activados. Tiene un fuerte poder colector e incrementa la recuperación de Au y Ag. Presentan un bajo impacto ambiental.

#### **Frother JR-W07 – JR-W19**

Son espumante resultantes de una mezcla de poliglicoles que proveen excelentes cualidades espumantes y selectivas para todo tipo de sistemas de flotación. Su aplicación en conjunto con la línea de colectores AZ-W provee todas las herramientas para optimizar los procesos de flotación. Se usan en flotación de minerales sulfurados y oxidados en minería polimetálica Cu-Pb-Zn-Ag y Au-Ag. Producen espumas pequeñas y consistentes que arrastran los minerales valiosos selectivamente, mejora la cinética de flotación y se mantiene estable durante el periodo de residencia de la pulpa brindando muy buena selectividad frente a la pirita e incrementando los niveles de recuperación.