

2016

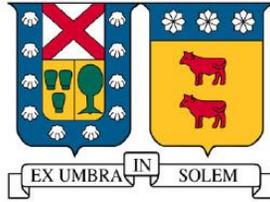
# METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA EVALUAR EL POTENCIAL COMPETITIVO DE COMPAÑÍAS MINERAS BASADO EN SUS COSTOS OPERACIONALES

CAROCA VALLEJOS, SERGIO ENRIQUE

---

<http://hdl.handle.net/11673/23068>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA  
CAMPUS VITACURA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTIÓN EMPRESARIAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL  
MBA

---

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA EVALUAR EL POTENCIAL COMPETITIVO DE  
COMPAÑÍAS MINERAS BASADO EN SUS COSTOS OPERACIONALES

---

SERGIO ENRIQUE CAROCA VALLEJOS

PROFESOR GUÍA  
FERNANDO YANINE

*NOVIEMBRE 2016*

## Resumen

El presente trabajo desarrolla una metodología de análisis que permite calcular el potencial competitivo de una operación minera de cobre basándose en la comparación de los costos operacionales. Para esto, se definen distintos niveles de análisis en función de la profundidad del resultado esperado, la cantidad de datos disponibles y la calidad de información recopilada.

El potencial competitivo será la mejor posición a la cual puede llegar una operación, gestionando todos los ahorros posibles que permitan llevar el ítem de gasto evaluado al primer cuartil del mercado comparado.

Los costos operacionales son el resultado de combinar las condiciones propias de las operaciones con de la gestión realizada sobre los distintos procesos productivos. Aquel costo que depende directamente de la estructura o configuración de la operación se denomina fracción no gestionable, en cambio el costo asociado directamente a la gestión de los procesos se denomina fracción gestionable. Se analiza el impacto que tienen las condiciones propias de las operaciones sobre su estructura de costos, con el fin de modelar una fracción gestionable y una fracción no gestionable del costo asociado a cada ítem de gasto. La fracción gestionable representa el límite máximo del potencial ahorro de un ítem de gasto sin destruir valor en la operación. El cálculo de esta fracción evita sobreestimar el potencial competitivo.

La metodología desarrollada permite identificar que ítems de gasto tienen un potencial ahorro respecto al mercado, separando este ahorro en el efecto de mejorar las tarifas y rendimientos del uso del recurso con el fin de lograr la competitividad potencial.

Los resultados son implementados en un cuadro de mando integral con toda la información necesaria para la toma de decisiones a nivel ejecutivo, en conformidad con los planes de ahorros de la empresa a ejecutarse en el mediano y largo plazo.

## **Abstract**

This paper develops an analytical methodology for calculating the competitive potential of a copper mining operation based on the comparison of operating costs. For this, different levels of analysis are defined based on the depth of the expected result, the amount of data available and the quality of information collected.

The competitive potential will be the best position to which can reach an operation, managing all possible savings to bring the expenditure item evaluated the first quartile of the market compared.

Operating costs are the result of combining the own conditions of Operations with the management carried out on the different production processes. That cost, which is directly dependent on the structure or configuration of the operation is called non-manageable fraction, instead the cost directly associated with the management of processes is called manageable fraction. The impact of the specific conditions of operations on its cost structure is analyzed in order to model a manageable and non-manageable fraction of cost associated with each item of expenditure. The manageable fraction represents the maximum potential savings of an item of expenditure without destroying value in the operation. The calculation of this fraction avoids overestimating the competitive potential.

The developed methodology identifies that expenditure items have potential savings relative to the market, separating these savings in order to improve yields and rates of resource use in order to achieve the potential competitiveness.

The results are implemented in a balanced scorecard with all necessary information for decision making at the executive level, in accordance with savings plans to run the company in the medium and long term.

## Índice

RESUMEN .....	2
ABSTRACT .....	3
ÍNDICE .....	4
I. INTRODUCCIÓN .....	6
II. OBJETIVOS .....	9
a) Objetivos generales .....	9
b) Objetivos específicos .....	9
c) Alcance.....	9
III. METODOLOGÍA .....	10
IV. ESTADO DEL ARTE .....	11
1. Costos operacionales de la industria minera del cobre. ....	11
2. Evolución de los costos operacionales de la minería del cobre.....	13
3. Competitividad en la industria minera del cobre. ....	20
V. DESARROLLO .....	26
1. Descripción de las actividades unitarias de la minería del cobre .....	26
2. Análisis de las variables endógenas que afectan los costos de la industria minera .....	50
3. Desarrollo de la metodología de análisis .....	95
4. Aplicación de la metodología .....	113
VI. RESULTADOS.....	138
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
1. Conclusiones .....	148

<b>2. Recomendaciones.....</b>	<b>150</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>151</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>152</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>156</b>
<b>ECUACIONES .....</b>	<b>157</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>158</b>

## I. Introducción

El cobre, durante el desarrollo humano, ha sido uno de los metales más ampliamente utilizado en el mundo y de diversas formas. Actualmente, se emplea en construcción, electrónica, maquinaria y bienes de consumo masivo, como por ejemplo, el vestuario. En el último tiempo, el precio del cobre se ha vuelto altamente volátil, principalmente, por la demanda de sustitutos y la desaceleración del crecimiento de China. Esto ha sometido a las compañías mineras a una gran presión por reducir sus costos operacionales, y mantener su competitividad en el mercado actual y futuro. (Wood McKenzie)

La producción de cobre del mundo en el año 2014 era cercana a las 25 millones de toneladas por año, de las cuales el 31% eran producidas en Chile (ver Fig 1.). Con el envejecimiento de los yacimientos y los cambios en las condiciones del mercado, los costos promedio de la industria han aumentado, principalmente, por la mayor exigencia de producción como consecuencia de **los altos precios que presentó el metal durante el súper ciclo de cobre** entre los años 2006 al 2014 (ver Fig 2), triplicando los costos operacionales netos o *cash cost* respecto a la década anterior (ver Fig 3).

En el 2013, tras un estudio realizado por la consultora Wood Mackenzie, se determinó que un tercio de la inversión en producción adicional de cobre proyectada para el 2020 en Chile estaría en riesgo, por presentar un *cash cost* sobre el precio del metal esperado (Realizado aun en el súper ciclo del precio). De no haber cambios en la estructura de costos del negocio, estaría en riesgo el cumplir la meta de las 9 millones de toneladas de producción de cobre para el término de la década. (Revista Capital, 2013).

Durante 2015, el precio del cobre cayó rápidamente, quedando por debajo de los percentiles más altos de la curva de costos. Productores que representan alrededor de un 10% de la producción de cobre registraron costos de caja después del crédito por subproductos superiores al promedio anual del precio. Si se consideran los precios mínimos recientes, ese porcentaje es aún mayor. Las compañías están incrementando sus esfuerzos para reducir costos por diversas vías, incluyendo renegociación de contratos, cambios en los planes mineros y, en algunos casos, reducciones sustanciales de personal. Sin embargo, se estima que la baja en los costos de caja se ha producido en gran medida por causas exógenas, principalmente, la apreciación del dólar (ver Fig 4), que ha beneficiado a muchos países productores, y la pronunciada caída en el precio del petróleo. Se espera que los factores externos continúen favoreciendo a los productores durante 2016, pues el traspaso a menores costos se produce con rezagos en algunos casos. (Davisson, 2016).

Ante un mercado de *commodity*, donde no es posible manejar el precio de venta, con poca o casi nula capacidad de diferenciación y expuesto completamente a las variables macroeconómicas, el mantener una estrategia de bajos costos es fundamental para garantizar la sustentabilidad del negocio en el tiempo. Es por ello, que la medición de competitividad en el mercado a través del *cash cost* o el costo neto a cátodo resulta útil para medir la posición en la industria y gestionar las brechas presentes. Esto sumado a las características propias de cada

yacimiento y su estrategia de operación, permiten entender que tan competitiva es una operación minera en el mundo y su capacidad de resistencia a la volatilidad del precio.

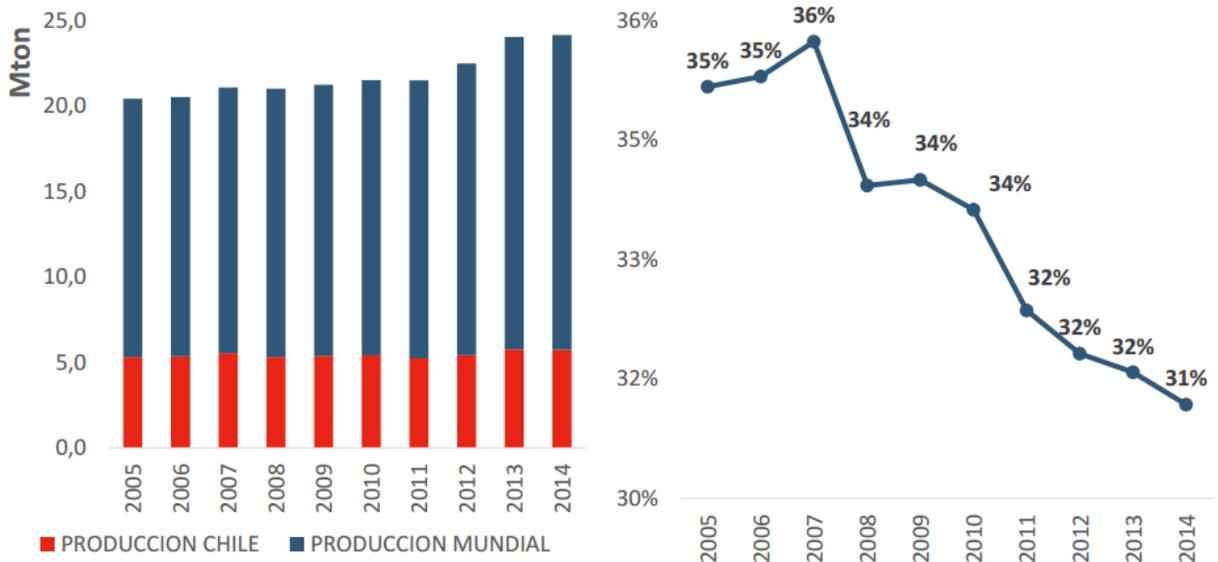


Fig 1. Producción mundial de cobre y participación de Chile. (Cochilco, 2015)

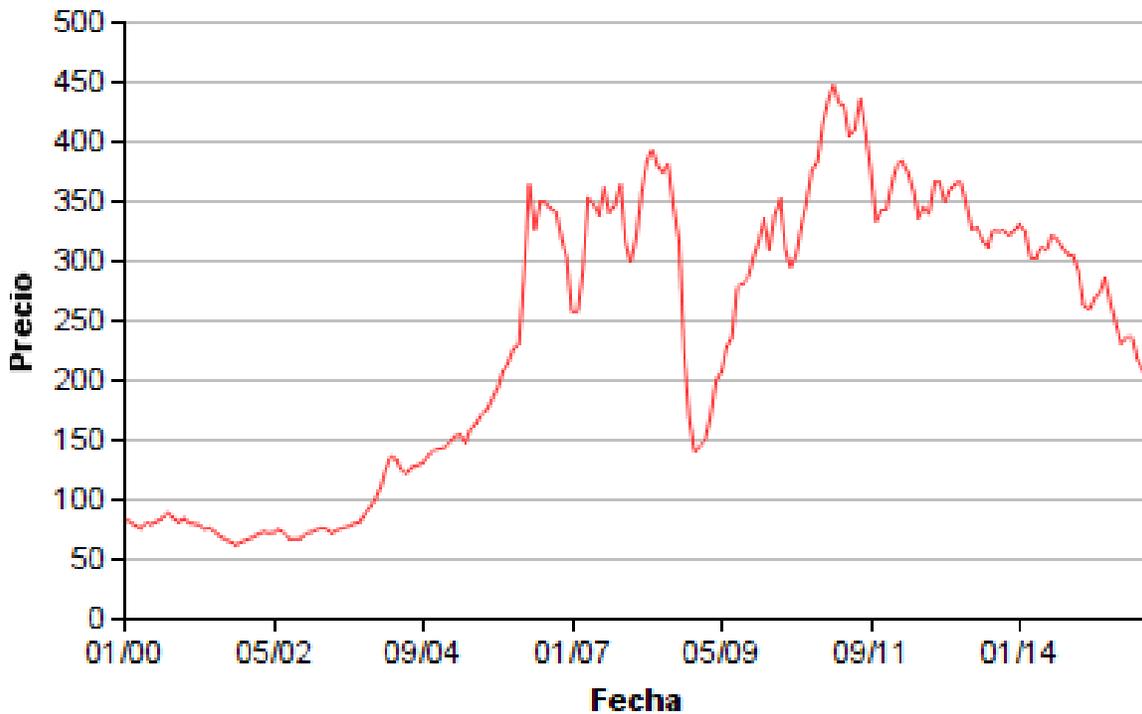
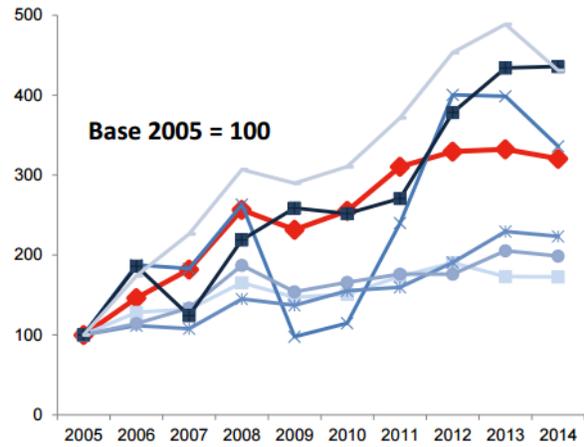
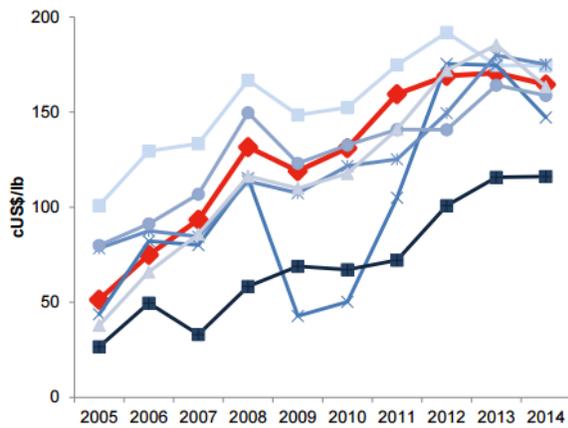


Fig 2. Precio del cobre (c/lb) 2000 – 2016. (Cochilco, 2016)



● Chile  
 ● África  
 ● Oceanía y Sudeste Asiático  
 ● Asia  
 ● Europa  
 ● Resto Latinoamérica  
 ● Norteamérica

● Chile  
 ● África  
 ● Oceanía y Sudeste Asiático  
 ● Asia  
 ● Europa  
 ● Resto Latinoamérica  
 ● Norteamérica

Fig 3 Costo cash C1 promedio de la industria minera. (Cochilco, 2015)

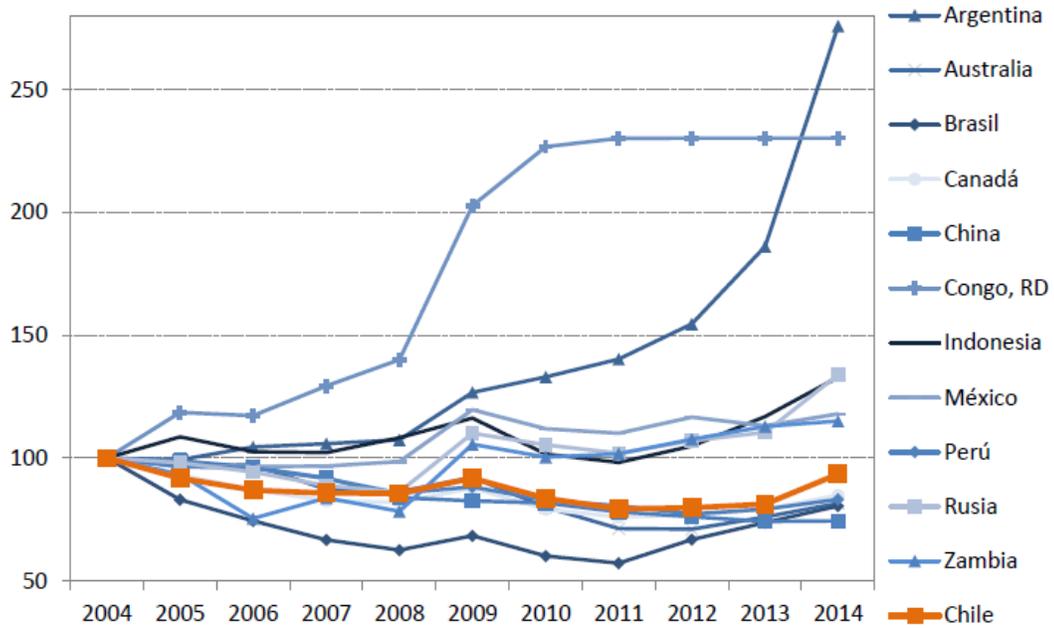


Fig 4 Variación Cambiaria. (Cochilco, 2015)

## II. Objetivos

### a) Objetivos generales

Desarrollar una metodología de análisis que permita estimar la mejor posición competitiva de una operación minera, en función del costo caja (cash cost), considerando las principales variables endógenas y exógenas que afectan a la industria minera del cobre.

### b) Objetivos específicos

- Analizar la estructura de costos de la industria y determinar las variables endógenas que impactan el costo operacional, determinando su peso, variabilidad y correlación.
- Desarrollar la metodología que permita estimar el potencial competitivo de una compañía en la industria en función de las principales variables endógenas y exógenas que le impactan.
- Estimar el potencial competitivo de las compañías del grupo Antofagasta Minerals.
- Generar un cuadro de mando que permita analizar la brecha existente entre el estado actual y óptimo de una operación en un momento dado.

### c) Alcance

El desarrollo de esta tesina está focalizado en el análisis de las operaciones de la industria del cobre, con su método de explotación tradicional de rajo abierto (*open pit*). Se considerará como costos operacionales los compuestos por el costo mina, planta y de administración.

Para diferenciar y correlacionar correctamente las operaciones, se considerará la comercialización de los sub productos, pues ambos actúan como créditos en el costo operacional.

Para el caso de la planta, se considerarán dos tipos de procesos: Concentración y lixiviación. Por último, se sumarán los costos de comercialización y refinería para aquellas operaciones productoras de concentrados.

Para medir la competitividad, a través de los cuartiles de producción, se utilizará el espectro mundial de compañías productoras de cobre, no importando si éstas son tradicionales o con algún método de explotación alternativo, pues se quiere medir la competitividad global y la capacidad de resistencia ante la variabilidad del precio del cobre.

Para análisis de brechas y recomendaciones, se tomará como referencia la industria nacional, por simplificación de los efectos de las variables económicas en el comportamiento local.

### III. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo es necesario entender cómo las variables y condiciones impactan la estructura de costos de las operaciones, afectando su competitividad y la generación del margen operacional dadas las condiciones de los precios de los metales. Para esto, se realizará un estudio basado en la recopilación de información proveniente de reportes, estudios de mercados y publicaciones de análisis de la industria, con el fin de contextualizar lo que significa la posición competitiva en la minería.

Las variables macro económicas no serán consideradas en el análisis, puesto que el mercado estudiado corresponde a la industria nacional, por lo tanto, todas las operaciones están expuestas a las mismas condiciones económicas como son: tipo de cambio, inflación, tasas de interés, royalties y políticas de gobierno.

El análisis de las variables endógenas y su impacto en la estructura de costos de las compañías, se realizará tomando cuenta la data histórica disponible de distintos estudios benchmarking de la industria, la caracterización de las principales condicionantes de los yacimientos mineros y entrevistas con expertos de la industria.

Una vez definidas las variables más importantes y su relación con la estructura de costos, se comenzará a desarrollar la metodología de evaluación del potencial competitivo. El modelo debe ser independiente y aplicable a cualquier operación minera dentro del alcance de análisis propuesto. Se plantea una metodología cuantitativa, que permita analizar la estructura de costos para reconocer las palancas que optimizarían los procesos hasta su máximo potencial, tomando en cuenta las variables endógenas y las condiciones del mercado comparado. La suma de los procesos optimizados daría como resultado la mejor posición competitiva posible.

Se espera que la metodología sea aplicada a las compañías que pertenecen al grupo Antofagasta Minerals S.A. (AMSA) y en las que se determinará el potencial competitivo, exponiendo las brechas de desempeño existentes con respecto a su posición actual.

Por último, en base a la metodología empleada, se espera desarrollar una herramienta de gestión que permita monitorear, en forma simple, la posición competitiva de una compañía y las brechas existentes. Su uso es de nivel estratégico y permitirá al equipo ejecutivo tomar decisiones en cuanto a la gestión de costos y planes de ahorro con un mayor grado de información.

## IV. Estado del arte

### 1. Costos operacionales de la industria minera del cobre.

Si bien, la estructura de costos de una empresa estará relacionada con los objetivos y decisiones que busque tomar, en la industria del cobre se ha determinado una estructura de costos comparables que permite focalizar las decisiones desde el punto de vista contable y estratégico. Esta estructura es reconocida por el uso de conceptos C1, C2 y C3 asociados a la consultora *Brook Hunt*, parte del grupo *Wood Mackenzie* (Cochilco, 2015).

Desde el punto de vista financiero - contable, los costos de producción corresponden a todos aquellos costos que son necesarios de incurrir para la elaboración del producto, ya sea de manera directa (mano de obra, insumos, materiales e inventarios de materia prima) o indirecta, como son los servicios de apoyo a la producción. También, se incluyen los costos incurridos por desgaste de los activos, como depreciaciones y amortizaciones. Por último, se suman los costos de distribución y administración, que permiten la venta del producto (ejemplo: fletes y seguros).

Total costos de operación	Costos de explotación	Remuneraciones
		Materiales e insumos
		Energía
		Combustibles
		Depreciación
		Servicios
		Costos de distribución, administración y venta

Tabla 1: Desglose de costos totales de operación. (Cochilco, 2015)

Desde el punto de vista estratégico – comercial, se utilizan los conceptos de C1, C2 y C3 para diferenciar los costos asociados a la operación directa, los costos de desgaste y los costos financieros. En términos prácticos se tiene lo siguiente:

- C1 (cash cost):** Agrupa los costos incurridos a través de todo el proceso minero hasta la venta del producto comercializable (cátodo en el caso del cobre), descontando los ingresos provenientes de los subproductos en caso de que existan (en algunos casos los ingresos de los subproductos superan los costos operacionales, resultando un C1 negativo<sup>1</sup>). Además, el C1 incorpora para el caso de

---

<sup>1</sup> Un costo negativo solo tiene sentido para realizar comparaciones o determinar los márgenes de las faenas, pero no para definir los montos efectivamente incurridos en cada periodo.

las explotaciones que comercializan productos intermedios, como el concentrado, los costos asociados a fundición y refinación (TC/RC)<sup>2</sup>.

- **C2 (production cost):** Corresponde al mismo costo C1, pero agregando los montos dados por la depreciación, amortización o agotamiento de los recursos en el caso que corresponda. La incorporación de las variables previamente mencionadas permite tener una noción del costo operacional, que a diferencia del C1 tiene una visión de sustentabilidad del negocio en un mediano plazo.
- **C3 (fully allocated cost):** Además de los costos antes mencionados, incluye los costos indirectos y los gastos financieros netos. Los costos indirectos incluyen entre otros: la porción atribuible de los gastos de las casas matrices y exploración atribuible a la operación, royalties u otros gastos extraordinarios. En este caso, la totalidad de los costos permite ser utilizada como una aproximación de la sustentabilidad económica de largo plazo de la operación, sin embargo, también incluiría costos que podrían ser temporales asociados a operaciones financieras particulares.

<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>Costos de extracción</b>
			<b>Costos de tratamiento</b>
			<b>Flete, fundición y refinación (TC/RC)</b>
			<b>Gastos de administración</b>
			<b>(-) Sub productos</b>
			<b>Depreciación y amortización</b>
			<b>Costos indirectos</b>
			<b>Costos financieros netos</b>

Tabla 2: Desglose de costos C1, C2 y C3. (Cochilco, 2015)

---

<sup>2</sup> Los descuentos de TC/RC corresponden en realidad a descuentos sobre las ventas en lugar de costos efectivamente pagados por las faenas.

## 2. Evolución de los costos operacionales de la minería del cobre.

En los últimos 10 años se ha producido un aumento constante de los costos de operación de la minería chilena. Al analizar los costos unitarios de explotación (c/lb), estos han crecido a una tasa del 10% anual, desde los 90 cUS\$/lb a 217 cUS\$/lb, sin embargo, se han estabilizado a partir del 2011 con una leve tendencia a la baja desde el 2012 (Cochilco, 2015).

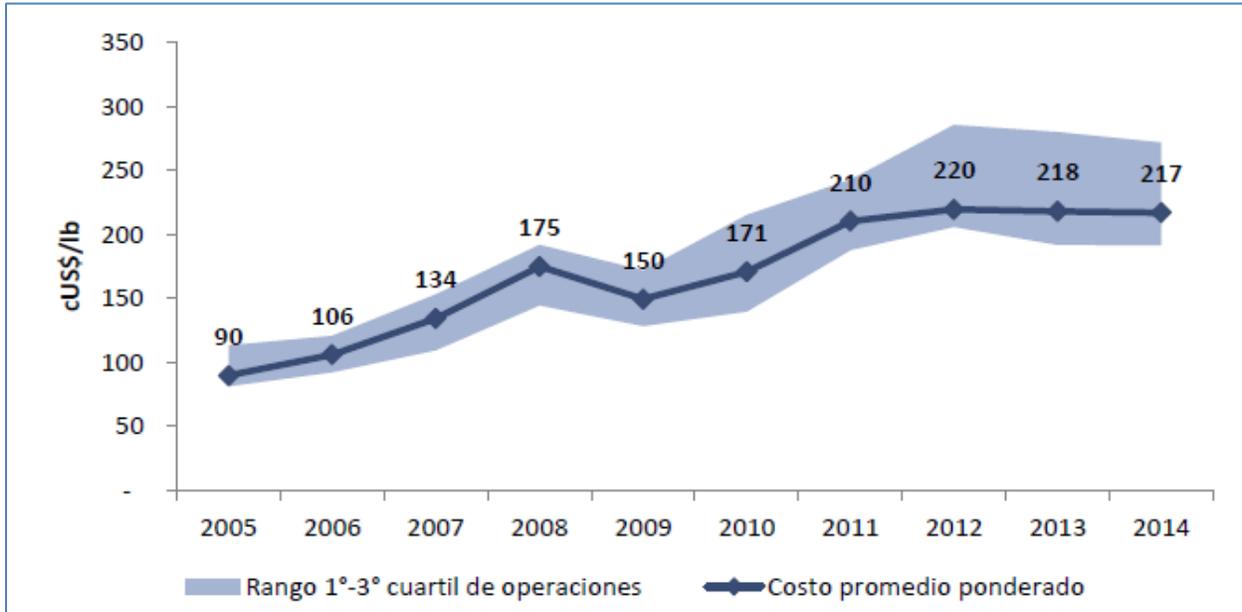


Fig 5 Cash cost (C1) promedio de la producción de cobre en Chile. (Cochilco, 2015)

El gráfico anterior muestra el aumento de la dispersión entre las distintas operaciones productoras de cobre en Chile. Esto, da cuenta de que con el paso del tiempo y la distinta capacidad de enfrentar los aumentos de costos, ha llevado a las empresas a diferenciarse de manera más acentuada en los últimos años, y a reducir sus márgenes en relación a las ventas por cobre que se realizan.

Desglosando los costos de operación de las empresas productoras de cobre del país en: remuneraciones propias y contratadas; ácido sulfúrico, energía eléctrica, combustible, flete de concentrados, materiales, depreciación entre otros gastos y servicios, y revisando la evolución que estos han tenido desde 2005 al 2014, es posible observar la disminución de los costos explicados por *otros gastos y servicios e insumos*, y el aumento del gasto por concepto de la depreciación de los activos y gastos en materiales.

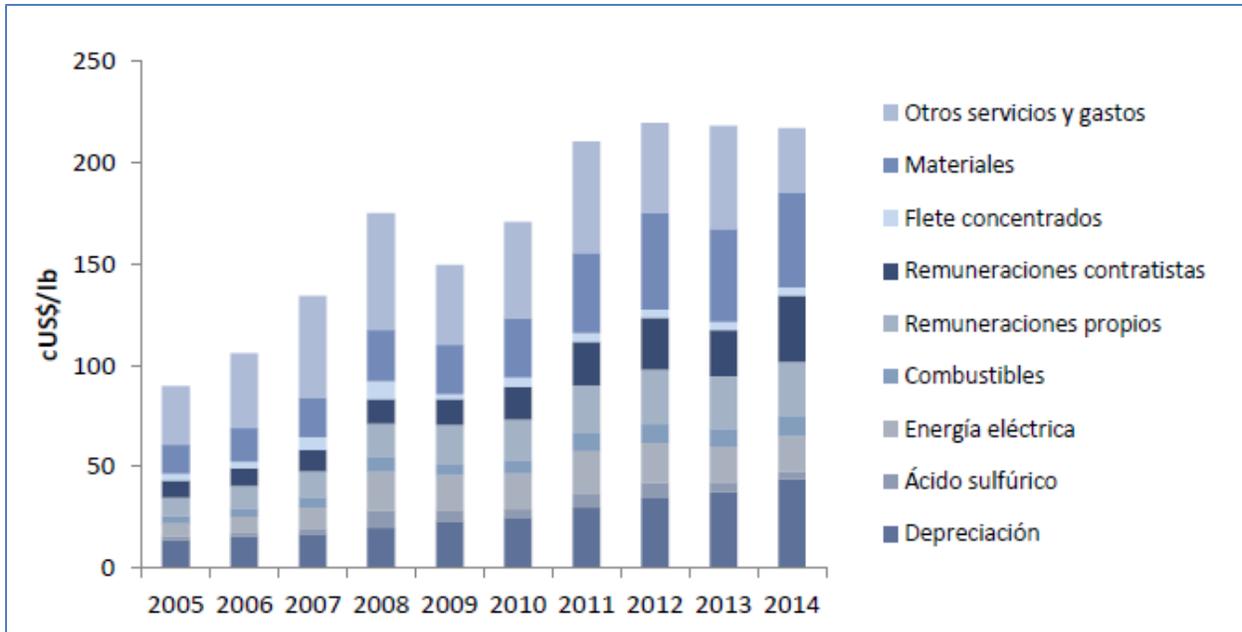


Fig 6 Desglose de costos unitarios de explotación entre 2005 - 2015. (Cochilco, 2015)

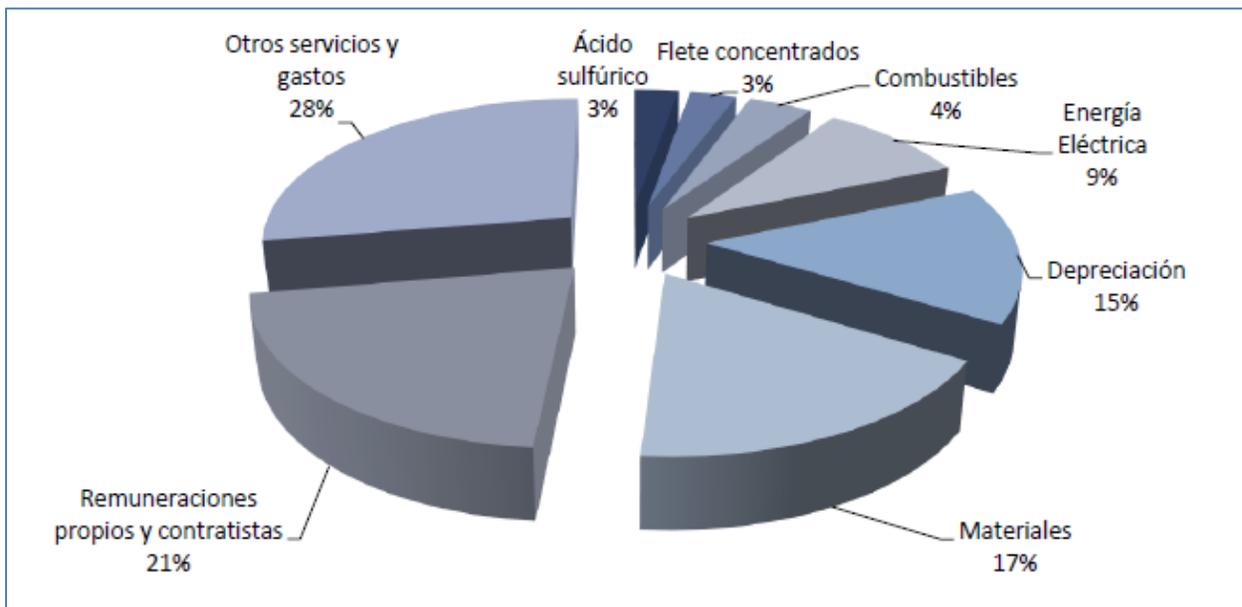


Fig 7 Participación porcentual promedio por elemento de gasto dentro del costo de explotación en el periodo 2005 - 2014. (Cochilco, 2015)

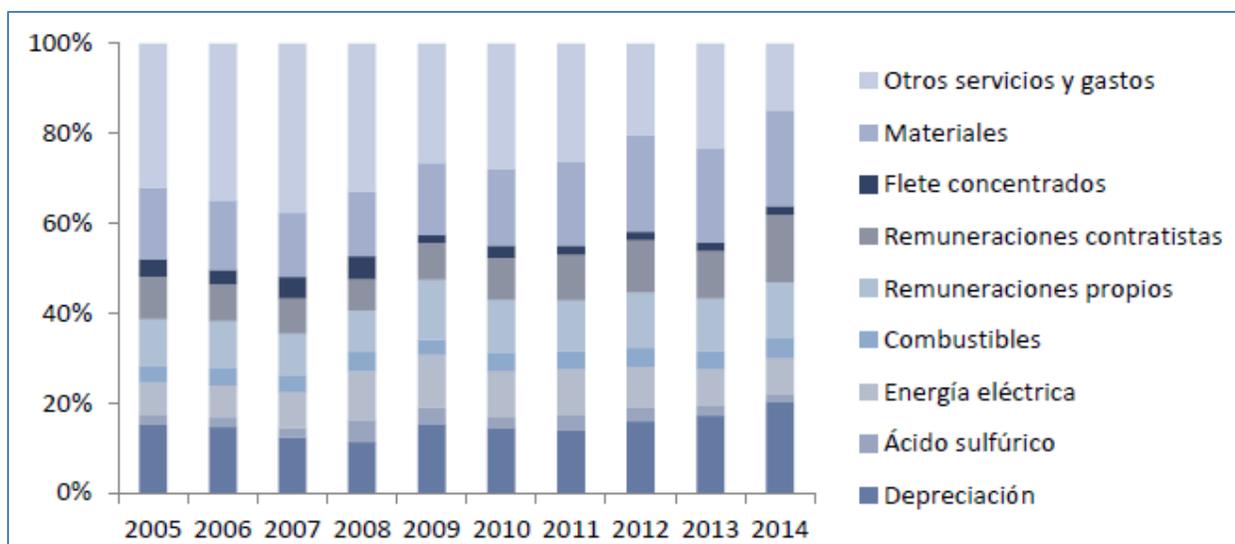


Fig 8 Participación porcentual promedio por elemento de gasto dentro del costo total de explotación en el periodo 2005 - 2014. (Cochilco, 2015)

En términos de rentabilidad, los costos se han incrementado siguiendo a las ventas como es presentado en la Fig 9, la que muestra los costos y ventas unitarias. Además, permite apreciar la disminución a prácticamente la mitad del resultado operacional promedio, desde 210 cUS\$/lb para el año 2010 hasta 102 cUS\$/lb el 2014. Lo mismo ocurre con los márgenes sobre las ventas, los que han caído constantemente desde un 48% en el año 2010 hasta un 22% en el año 2014, dejando incluso empresas operando a pérdida (ver Fig 10).

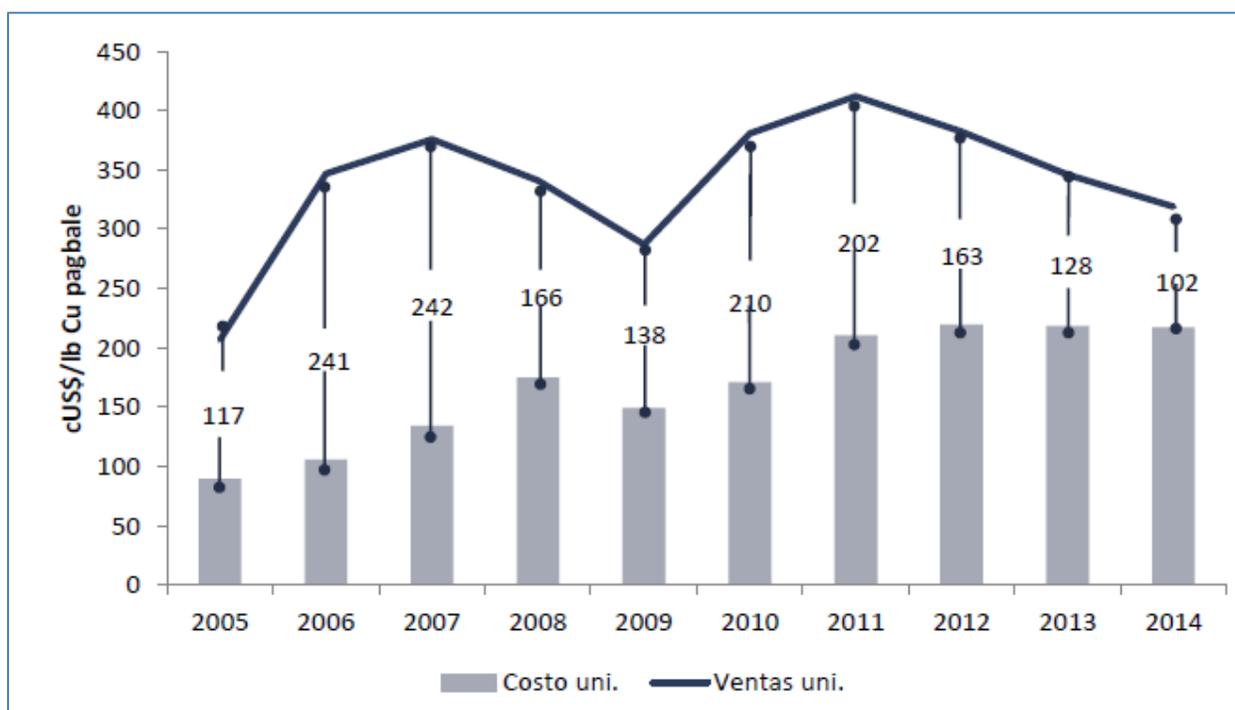


Fig 9 Costos y ventas unitarias en la minería del cobre para el periodo 2005 - 2014. (Cochilco, 2015)

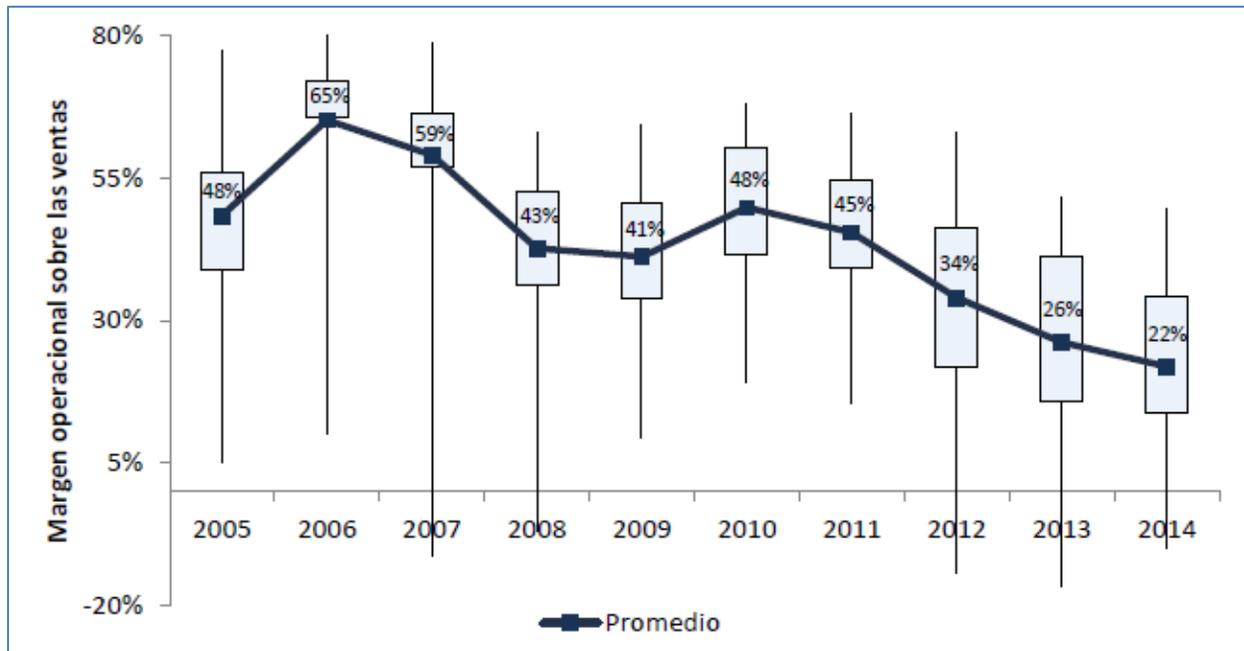


Fig 10 Márgenes operacionales sobre las ventas de productoras de cobres chilenas (Máximo, mínimos, promedios y cuartiles). (Cochilco, 2015)

Hasta el año 2010, no existían amplias variaciones entre las distintas operaciones según el tipo de procesamiento (concentración - lixiviación), pero a partir de ese año comienzan a diferenciarse, quedando aquellas compañías con procesos hidrometalúrgicos en una posición de desventaja respecto a las compañías con procesos de flotación, explicado por los factores estructurales que toman mayor peso en las operaciones de lixiviación, que por lo general se trata de yacimientos más antiguos, con mayores costos de extracción (aumento de las distancias de transporte), y minerales que requieren un mayor consumo de ácido (menores leyes y cambio en la composición mineralógica). (Ver Fig 11)

Al realizar el desglose por elemento de gasto dentro de los tres tipos de operaciones, es importante notar lo significativo de las diferencias asociadas en lo que respecta a la participación del ácido sulfúrico y el transporte marítimo de concentrados.

El aumento significativo de los costos del 2005 al 2014 se puede descomponer en 5 factores:

- Efecto por cambio de ley en el mineral procesado.
- Cambio en los precios y cantidades utilizados en los distintos factores de producción.
- Efectos inflacionarios o tipo de cambio.
- Variación de otros servicios y gastos.
- Depreciación de los activos.

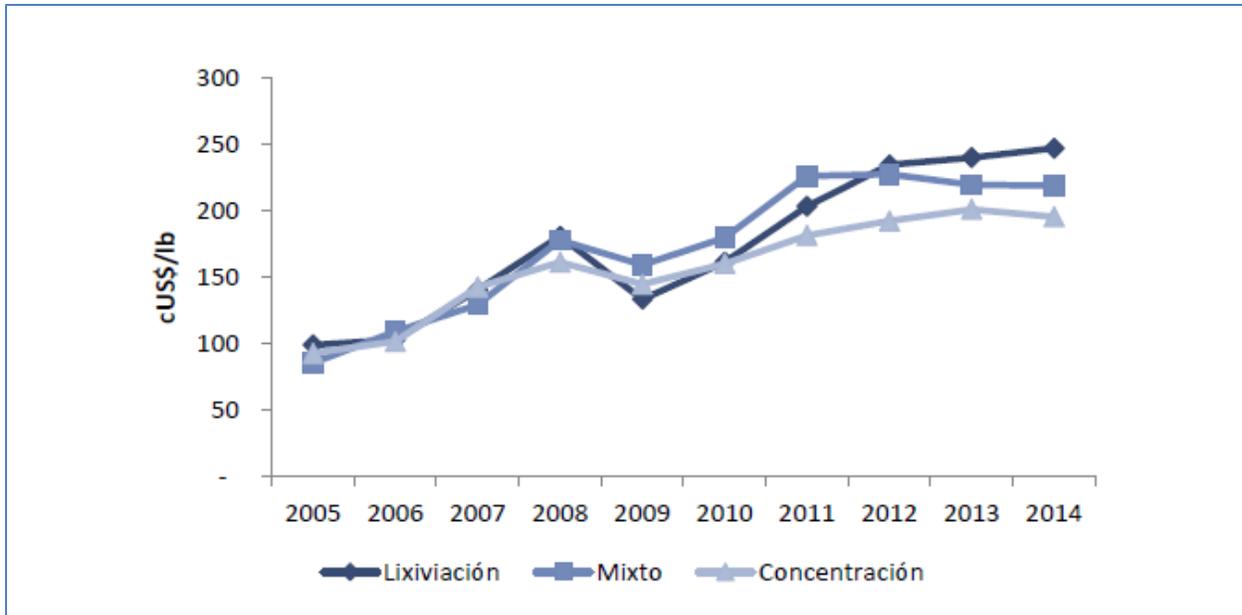


Fig 11 Costos promedio según tipo de procesamiento de mineral en Chile para el periodo 2005-2014. **(Cochilco, 2015)**

Un estudio realizado por Cochilco (Cochilco, 2015) muestra que el mayor efecto (a nivel agregado), que explica la variación del costo unitario, es el aumento del precio y cantidades utilizadas de los factores de producción. Este ítem representa un 29% del aumento del costo. Es importante destacar que dentro de la variación del precio y consumo de los factores de producción no se considera el aumento de gasto de los materiales, sin embargo, sí está considerado el efecto de precios de los materiales, por lo cual, el incremento del gasto en materiales indicado estaría asociado a un aumento en conjunto entre las cantidades utilizadas en el período y al efecto combinado del precio y cantidad.

También, se destaca que la sola caída de la ley explica un 14% del aumento del costo. Este efecto sólo considera a la ley y no a otras variables estructurales de operación como podrían ser el aumento de la profundidad de extracción, mayores distancias de transporte o cambios en la composición de la roca mineralizada. Estos factores se recogen implícitamente en el resto de las variables consideradas. (Ver Fig 13).

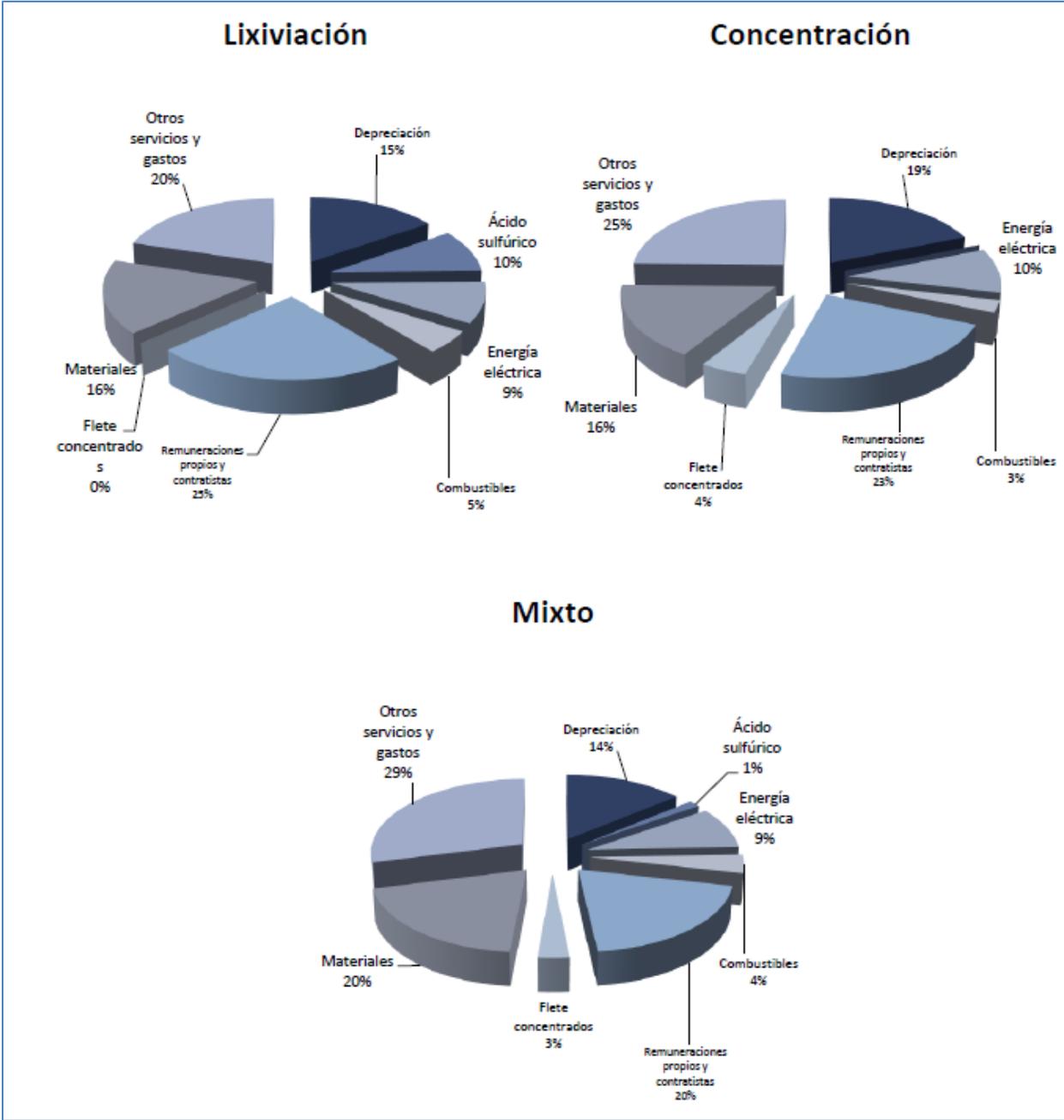


Fig 12 Participación por elemento de gasto en el costo operacional en función del tipo de tratamiento para el periodo 2005-2014. (Cochilco, 2015)

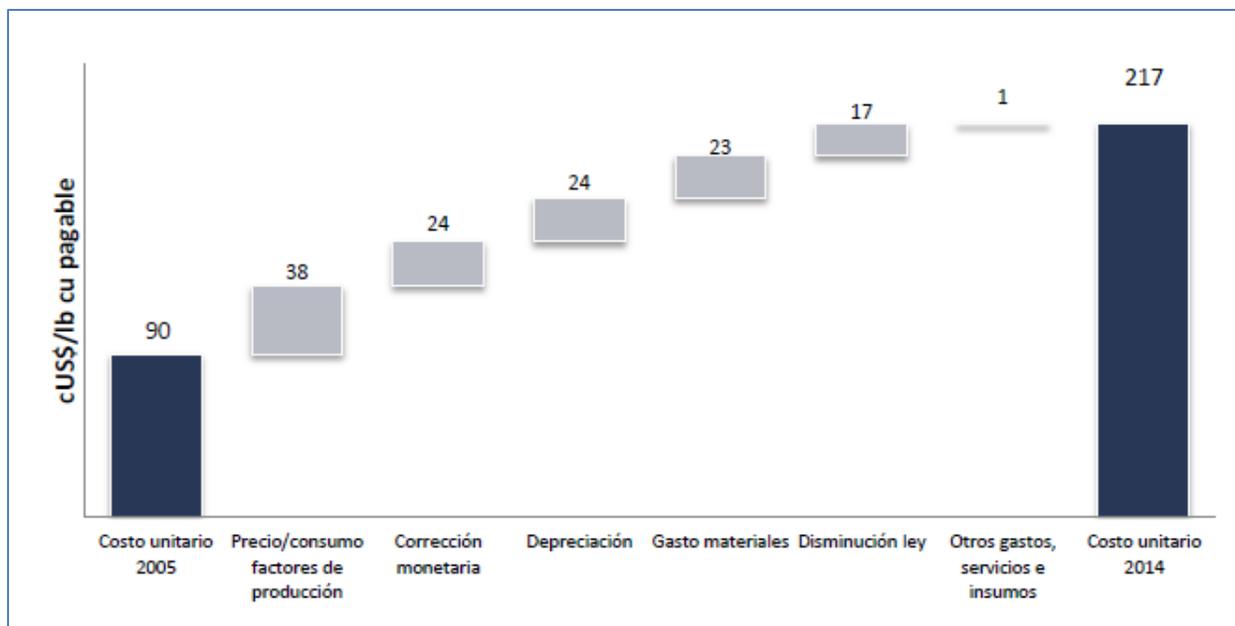


Fig 13 Efectos sobre la variación de costos unitarios en la minería para el periodo 2005-2014. (Cochilco, 2015)

Al desglosar el efecto de los factores de producción sobre el costo de producción, es posible ver que los tres factores que tuvieron un mayor impacto corresponden al trabajo, la energía eléctrica y los combustibles. Lo anterior, tanto en la cantidad requerida por las empresas mineras como por el aumento del precio de cada uno de estos. La siguiente tabla muestra en detalle la variación de los principales factores de producción.

Efecto	Unidad	Precio	Cantidad	Mixto	Total
Trabajo	cUS\$/lb pagable	9.1	6.4	6.9	22.4
Energía		5.3	1.4	1.6	8.2
Combustibles		1.2	1.8	1.2	4.2
Materiales		1.6	-	-	1.6
Ácido Sulfúrico		0.2	0.8	0.2	1.2
Flete marítimo		-0.6	0.5	0.0	-0.1
<b>Total</b>			<b>16.8</b>	<b>10.9</b>	<b>9.8</b>

Tabla 3: Efecto sobre el costos de los factores de producción. (Cochilco, 2015)

### 3. Competitividad en la industria minera del cobre.

Un término común en la industria del cobre para realizar comparaciones de la posición competitiva de las distintas operaciones, corresponde al denominado *cash cost* o *C1*. El objetivo de este indicador se encuentra en determinar la curva de oferta de corto plazo del cobre, siendo éste un indicador del costo marginal de las empresas.

La construcción de la curva de oferta marginal a través de la metodología de costeo del C1 muestra el importante aumento del costo en las faenas productoras de cobre del país. En promedio, la evolución del C1 del país, se ha incrementado desde 51 cUS\$/lb en el año 2005 hasta 162 cUS\$/lb en el 2014 (ver Fig 15). Este aumento se replica en el resto de los productores del mundo, pero en menor medida que el promedio nacional. En particular, este valor en Chile ha crecido en 3,2 veces en 10 años, mientras que en otros países el aumento de los costos es de aproximadamente el doble que el 2005. A pesar de que el aumento del costo C1 del resto de los países latinoamericanos es mayor que el de Chile, en términos absolutos, estos se encuentran en una mejor posición competitiva respecto a Chile. El mayor valor de los subproductos compensa la pérdida de competitividad, pero el incremento de los costos operacionales explica la mayor parte de la variación de C1.

Chile, hasta el 2014 había perdido competitividad en el mercado internacional. El porcentaje de producción proveniente de países con un menor C1 que Chile, pasó de un 31% a un 33% (ver Fig 16), pero esta situación se revirtió el año 2015, en donde Chile recupera su posición competitiva, quedando en el percentil 30 de la producción mundial. Lo anterior, muestra que para los países es cada vez más difícil diferenciarse en términos de costos, pues existe una regularización o estandarización de la curva de oferta, lo que impulsa a los países a buscar nuevas maneras de lograr atraer proyectos mineros para lograr aumentar su capacidad productiva.

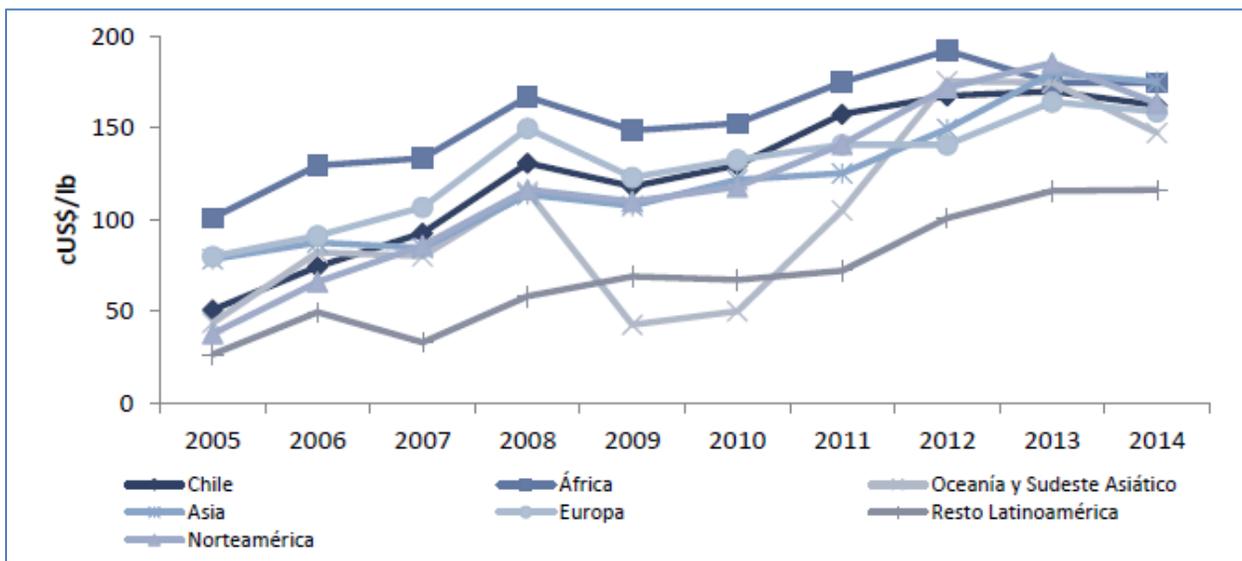


Fig 14 Evolución de costo C1 en Chile y distintas regiones del mundo. (Cochilco, 2015)

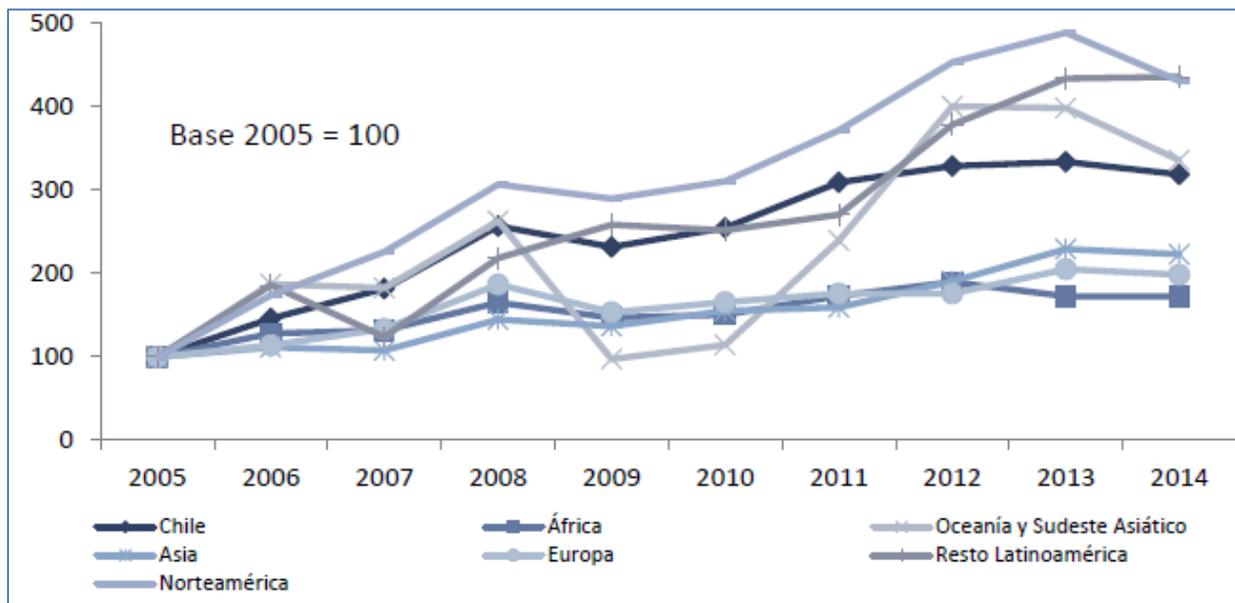


Fig 15 Evolución de costo C1 (índice base 2005 = 100) en Chile y distintas regiones del mundo. (Cochilco, 2015)

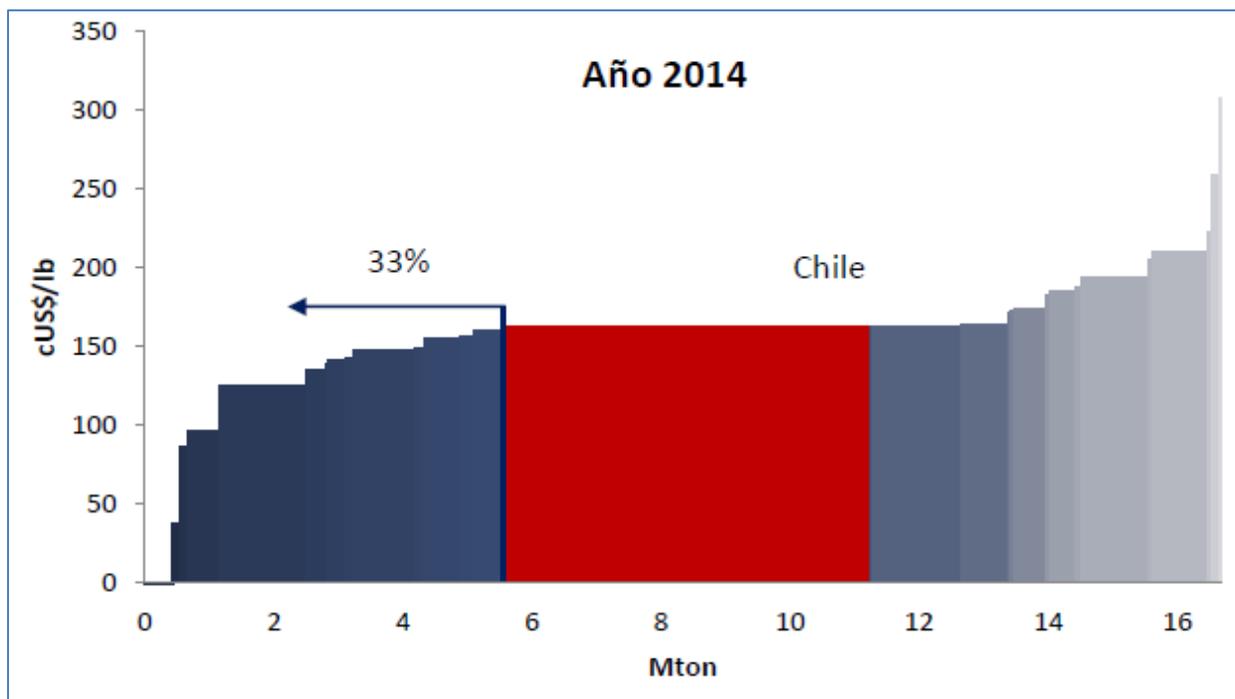
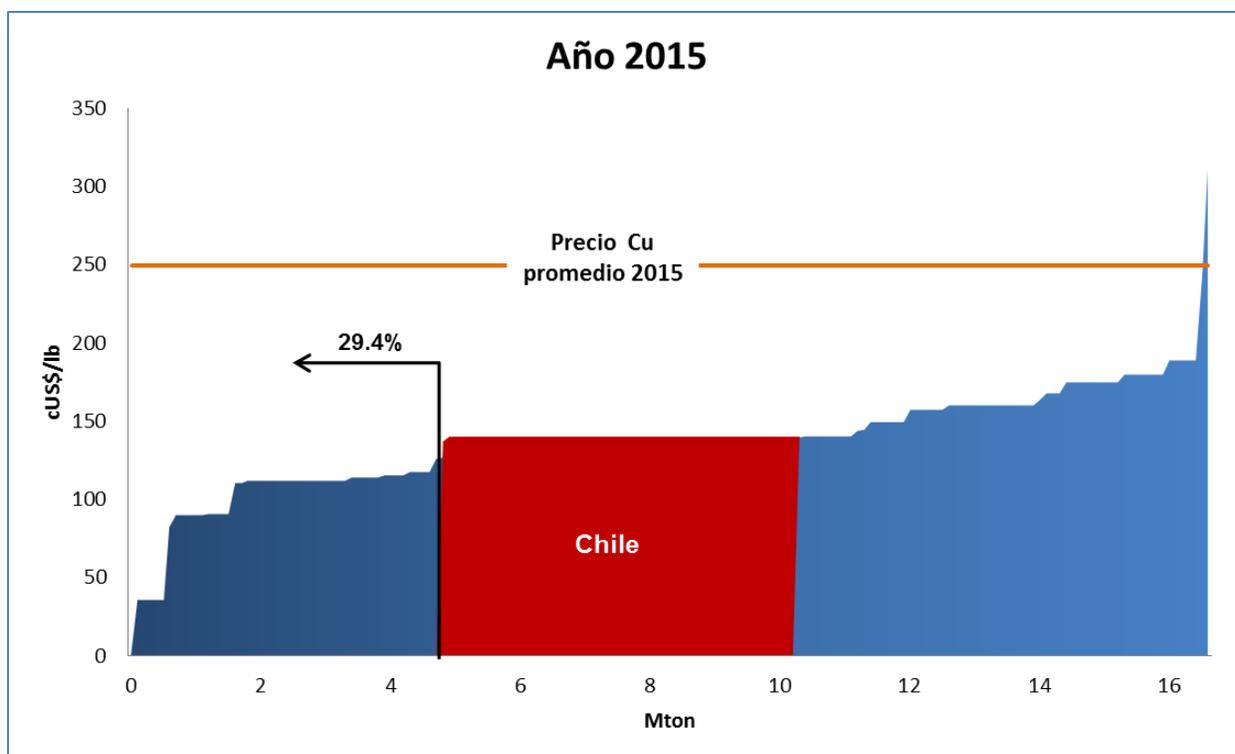


Fig 16 Curva de costos C1 promedio de la minería del cobre por países para 2014. (Cochilco, 2015)



Graf. 1 Curva de costos C1 promedio de la minería del cobre por países para 2015. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**

Si analizamos la competitividad de las empresas productoras de cobre en el mundo, tenemos que las mejores posicionadas (primer cuartil) para el año 2015 son las mostradas en la Tabla 4. En ella se aprecia que sólo 3 operaciones chilenas se encuentran en el Q1 (primer cuartil): Ministro Hales (Codelco), Spence (BHP Billiton) y El Teniente (Codelco). Otro punto interesante es que el tamaño de las productoras es bastante heterogéneo, pasando por operaciones que producen mil toneladas de cobre al año, a otras con producciones sobre 400 mil toneladas por año. También, es posible observar que en este cuartil existen operaciones distribuidas en todo el mundo, por lo tanto, sus bajos costos no están solamente ligados a condiciones de mercado local. El impacto de los créditos por subproductos en el C1 distorsiona el análisis competitivo operacional. Si sólo se considera el costo pre crédito, es decir, sin el aporte de los créditos por sub productos, el ranking queda como el mostrado en la Tabla 5.

Para el 2015 el rango de C1 para el primer cuartil se movió entre -5.7 cUS\$/lb (créditos por sub productos mayores a los costos operacionales) hasta 113.7 cUS\$/lb. El segundo cuartil (Q2) de producción termina con un C1 de 133.2 cUS\$/lb, el tercer cuartil (Q3) en 168.3 cUS\$/lb y el cuarto (Q4) contiene todo el resto de las operaciones con un C1 mayor a ese costo. Según información de Cochilco, el precio promedio del Cu para el año 2015 fue de 249 cUS\$/lb, es decir, un 3.3% de la producción mundial tuvo un costo C1 mayor al precio de mercado del cobre, más aún, si se compara con el C3, el 20.8% de la producción del mundo tuvo costos mayores al precio de venta, esto dado a la fuerte caída que tuvo el precio del metal del 2014 al 2015, pasando de 311 cUS\$/lb a 249 cUS\$/lb para el 2015, situación que ha obligado a las

compañías a realizar fuertes esfuerzos por bajar sus costos operacionales con el fin de proteger el margen neto. Esta situación continúa agudizándose durante el primer semestre del 2016, donde el precio del cobre cae a 214 cUS\$/lb.

#	Compañía	Pais	Cu (kt)	C1 (c/lb)	#	Compañía	Pais	Cu (kt)	C1 (c/lb)
1	Batu Hijau	Indonesia	219	-5.7	25	Fushun Hongtoushan	China	7	90.4
2	New Afton	Canada	38	-1.0	26	Chelopech	Bulgaria	19	95.3
3	La Caridad Minesite	Mexico	128	42.1	27	Aktogay Minesite Project	Kazakhstan	5	97.4
4	Koktaus	Kazakhstan	69	54.5	28	DeGrussa	Australia	67	98.5
5	Mount Milligan	Canada	32	55.5	<b>29</b>	<b>Mina Ministro Hales</b>	<b>Chile</b>	<b>160</b>	<b>100.0</b>
6	PT Freeport Indonesia	Indonesia	383	59.0	30	Tizapa	Mexico	1	100.4
7	Ashele	China	31	59.1	31	Sin Quyen	Vietnam	9	101.7
8	Antamina	Peru	376	61.5	32	Cuajone	Peru	172	103.5
9	Gacun	China	3	63.1	33	Wetar	Indonesia	4	103.8
10	Xiaotieshan	China	2	64.9	34	Aitik	Sweden	64	105.1
11	Rubtsovsky	Russian Federation	4	66.2	35	Wuxian Xiaomaoshan	China	1	105.6
12	Oyu Tolgoi	Mongolia	194	69.6	36	Constancia	Peru	110	105.7
13	Cananea Minesite	Mexico	306	75.6	37	Red Chris	Canada	30	106.0
14	Palabora	South Africa	39	77.0	38	Voisey's Bay	Canada	34	106.1
15	Garpenberg	Sweden	1	77.1	39	Cadia Hill	Australia	22	107.1
16	Northparkes	Australia	50	77.3	40	Jinchuan	China	37	108.1
17	Prominent Hill	Australia	127	78.0	41	Sepon / Khanong	Laos	85	109.2
18	Zyryanovsk	Kazakhstan	34	78.4	42	Sossego	Brazil	101	109.9
19	Salobo	Brazil	151	82.2	<b>43</b>	<b>Spence SxEw</b>	<b>Chile</b>	<b>156</b>	<b>110.5</b>
20	Norilsk	Russian Federation	334	82.3	44	Colquisiri	Peru	1	111.6
21	Khandiza	Uzbekistan	5	82.4	45	Changba (Baiyin)	China	10	112.4
22	Tonglvshan	China	20	86.2	46	Chungar	Peru	1	113.2
23	Las Cruces SxEw	Spain	70	86.5	<b>47</b>	<b>El Teniente Minesite</b>	<b>Chile</b>	<b>434</b>	<b>113.6</b>
24	Chapada	Brazil	59	89.4	48	Jiawula	China	1	113.7

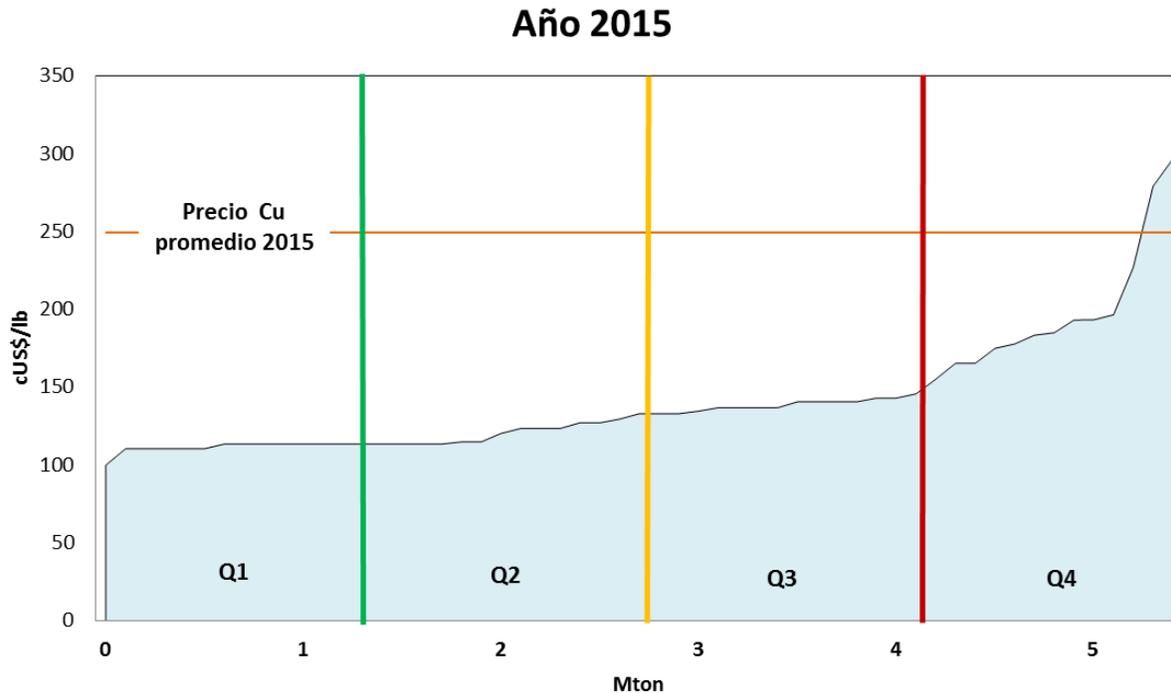
Tabla 4: Primer cuartil de costos cashs a nivel mundial para 2015. Elaboración propia con datos de (Wood Mackenzie, 2016)

Compañía	Pais	Cu (kt)	Pre Cred (c/lb)	#	Compañía	Pais	Cu (kt)	Pre Cred (c/lb)
Gacun	China	3	63.1	22	Sepon / Khanong	Laos	85	109.2
Xiaotieshan	China	2	64.9	<b>23</b>	<b>Spence SxEw</b>	<b>Chile</b>	<b>156</b>	<b>110.5</b>
Rubtsovsky	Russian Federation	4	66.2	24	Colquisiri	Peru	1	111.6
Koktaus	Kazakhstan	69	72.1	25	Changba (Baiyin)	China	10	112.4
Garpenberg	Sweden	1	77.1	26	Chungar	Peru	1	113.2
Zyryanovsk	Kazakhstan	34	78.4	27	Jiawula	China	1	113.7
Norilsk	Russian Federation	334	82.3	28	Santa Barbara	Mexico	4	117.0
Khandiza	Uzbekistan	5	82.4	29	Antamina	Peru	376	118.2
Tonglvshan	China	20	86.2	30	Huili Tianbaoshan	China	0	120.2
Las Cruces SxEw	Spain	70	86.5	<b>31</b>	<b>Radomiro Tomic SxEw</b>	<b>Chile</b>	<b>211</b>	<b>120.4</b>
Cananea Minesite	Mexico	306	86.7	<b>32</b>	<b>Escondida Minesite</b>	<b>Chile</b>	<b>1145</b>	<b>121.0</b>
Ashele	China	31	90.4	33	Didipio	Philippines	22	124.6
Chelopech	Bulgaria	19	95.3	<b>34</b>	<b>El Teniente Minesite</b>	<b>Chile</b>	<b>434</b>	<b>126.4</b>
Aktogay Minesite Project	Kazakhstan	5	97.4	35	Prominent Hill	Australia	127	126.7
Tizapa	Mexico	1	100.4	36	Eagle	USA	23	127.3
La Caridad Minesite	Mexico	128	100.6	37	Yauricocha	Peru	4	127.8
Wetar	Indonesia	4	103.8	38	Constancia	Peru	110	127.8
Wuxian Xiaomaoshan	China	1	105.6	39	DeGrussa	Australia	67	127.8
Voisey's Bay	Canada	34	106.1	40	Rosebery	Australia	2	127.9
Cadia Hill	Australia	22	107.1	41	Cuajone	Peru	172	129.0
Jinchuan	China	37	108.1	42	Ridgeway	Australia	36	130.4

Tabla 5: Primer cuartil de costos pre créditos a nivel mundial para 2015. Elaboración propia con datos de (Wood Mackenzie, 2016)

Realizando el mismo análisis para el 2015, pero sólo considerando la industria nacional, tenemos los siguientes resultados mostrados en el Graf. 1. A nivel nacional las compañías que conforman el Q1 son 4, siendo Escondida (BHP Billiton) la cuarta en entrar al cuartil (ver Tabla

6). De la misma forma, sacando el efecto de los créditos por sub productos (ver Tabla 6), el resultado cambia a 3 compañías, permaneciendo Spence y Escondida (Ambas de BHP Billiton) en el Q1.



Graf. 2 Curva de costos C1 promedio de la minería del cobre de Chile para 2015. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**

Q1 por C1				Q1 por costo pre crédito			
#	Compañía	Cu (kt)	C1 (c/lb)	#	Compañía	Cu (kt)	Pre Cred (c/lb)
1	Mina Ministro Hales	160	100.0	1	Spence SxEw	156	110.5
2	Spence SxEw	156	110.5	2	Radomiro Tomic SxEw	211	120.4
3	El Teniente Minesite	434	113.6	3	Escondida Minesite	1145	121.0
4	Escondida Minesite	1145	114.9				

Tabla 6: Primer cuartil de costos C1 y pre créditos en Chile para 2015. Elaboración propia con datos de (Wood Mackenzie, 2016)

Los límites de los cuartiles son variables en el tiempo y dependen de:

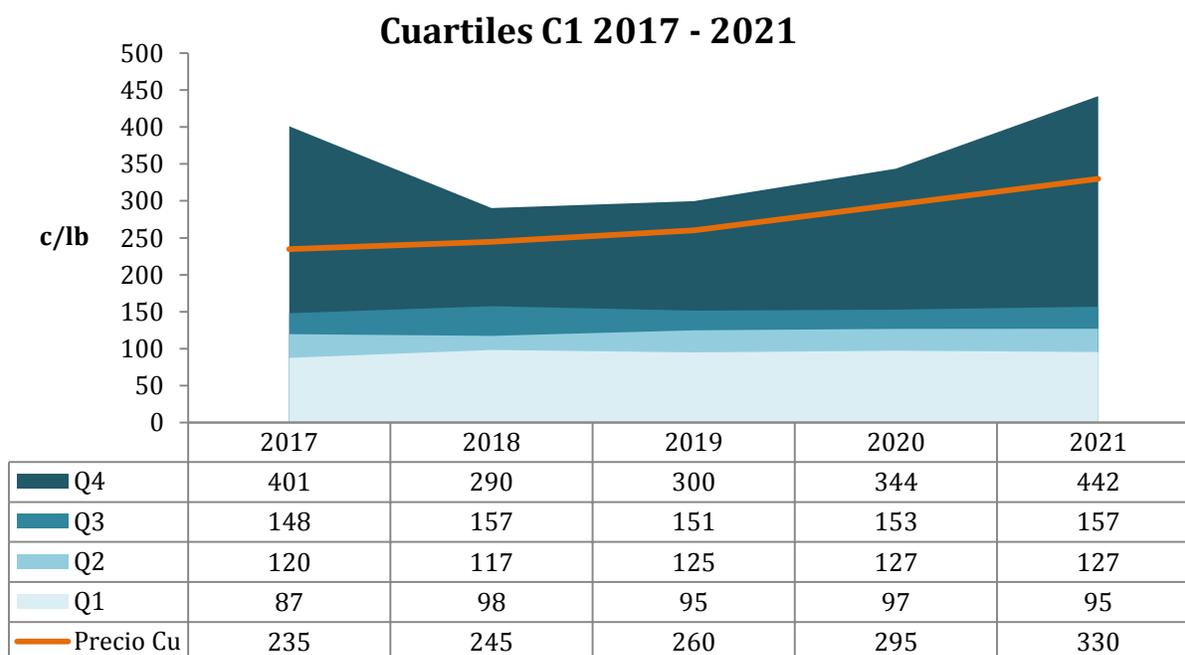
- Cantidad de producción en el período de análisis.
- Costos de producción.
- Cantidad y precios de subproductos.

Por lo tanto, para gestionar las operaciones y su competitividad en el corto plazo es necesario tener en cuenta las proyecciones de la industria mundial. Para esto, la consultora Wood

Mackenzie<sup>3</sup> provee de data (real y proyecciones) que permite construir las bandas en las cuales se moverán los cuartiles de producción y así medir la competitividad de una operación en particular en el corto plazo.

Considerando como referente las proyecciones realizadas por Wood Mackenzie para el periodo 2017 – 2021, con el set de datos del segundo trimestre del 2016, es posible construir las bandas de los cuartiles para los costos C1 de la industria del cobre, como es mostrado en el Graf. 3. En la gráfica anterior, es posible notar que las proyecciones realizadas por la consultora muestran bandas estables para los costos operaciones, sin mayores variaciones en el quinquenio, a excepción del Q4, cuyos máximos varían año a año, pues considera la entrada y salida de operaciones en la industria (apertura y cierre de operaciones). Además, se proyecta una tendencia al alza del precio del cobre, aumentando los márgenes netos de producción.

El 50% de producción promedio de la industria (Q2 + Q3) oscila entre los 123 cUS\$/lb y los 153 cUS\$/lb (30 cUS\$/lb de rango). No existen grandes diferencias entre los límites de los cuartiles, un incremento del 24% de los costos operaciones podría llevar a una operación a pasar del Q1 al Q4. He aquí donde radica la importancia de gestionar los costos operacionales y competitividad en la industria, pues aparte de mejorar los márgenes netos, la imagen de la compañía y su valor en la bolsa puede verse influenciado por su posición en el mercado.



Graf. 3 Proyección de cuartiles por C1 2017 - 2021, industria del cobre. Elaboración propia.  
(Wood Mackenzie, 2016)

<sup>3</sup> Wood Mackenzie: Es un grupo de consultoría e investigación global de la industria de metales, energía y minería, con reputación internacional en el suministro y análisis de datos (Wikipedia, 2016).

## V. Desarrollo

### 1. Descripción de las actividades unitarias de la minería del cobre

La minería del cobre tiene dos variantes clásicas (rajo y subterránea), dependiendo de la profundidad y acceso al cuerpo mineralizado. Para efectos del análisis de este trabajo sólo se considerará la minería de rajo u *open pit*. Bajo este esquema clásico se distinguen dos procesos principales de la operación: extracción del mineral y tratamiento del mineral. El tratamiento, según las características de la mineralización puede ser realizado mediante un proceso de flotación o concentración (para minerales sulfurados) o por medio de la lixiviación (para minerales oxidados principalmente). A su vez, cada proceso se subdivide en actividades unitarias comparables entre distintas faenas mineras. A continuación se describirán brevemente los procesos, subprocesos y recursos involucrados, con el fin de contextualizar el análisis que será realizado en los puntos posteriores.

#### **Explotación por rajo.**

En este tipo de extracción, el mineral se encuentra en la superficie o cercana de ésta, de manera que es económicamente rentable el que se retire separándolo del material lastre<sup>4</sup>. Su extracción debe considerar el mantener la estabilidad de sus paredes y permitir el tránsito de equipos de gran tonelaje. Por ello, su forma es una especie de cono invertido con paredes escalonadas. Cada sección de extracción se conoce como banco, y su nivel de inclinación, se conoce como ángulo de talud. El tránsito a través de los bancos se realiza mediante caminos o secciones horizontales, mientras que las bermas de seguridad, de corte escalonado, contienen posibles derrumbes. Las rampas son los caminos en pendiente que permite el paso de equipos desde la superficie a los distintos puntos de extracción.



Fig 17 Esquema de una mina de rajo o a cielo abierto (open pit). (Constructora Industrial y Minas, 2016)

<sup>4</sup> Lastre o estéril: Material extraído sin valor económico.

El objetivo de la extracción es sacar la roca desde la mina para ser enviada a la etapa siguiente de procesamiento (mineral) o botaderos (mineral de baja ley y lastre). Para llevar a cabo la extracción es necesario pasar por cuatro subprocesos, estos son: perforación, tronadura, carguío y transporte, acompañado de una actividad de servicios y equipos de apoyo que soportan la actividad a lo largo del proceso.

### Perforación:

Tiene como objetivo preparar la zona para la inserción de explosivos y posterior tronadura. La perforación se determina en base a distintas propiedades de las rocas. Se realiza el diseño de los diagramas de disparo, en el que se identifican elementos como el sector a perforar, el tipo de zona (mineral, lastre, rampa), la malla de perforación (espaciado, burden o distancia entre corridas), largo y diámetro de perforación, la máquina que realizará el trabajo y número de perforaciones.

El proceso se realiza en 4 etapas: percusión, rotación, empuje y barrido de la roca molida. En el caso de la minería de rajo, se denomina perforación de banqueo. Ésta es realizada en paredes verticales o inclinadas. Cuando el fin es extraer mineral, se denomina perforación de producción.

Los equipos de perforación utilizan distinta tecnología en cuanto a su uso final:

- Perforadora manual neumática: tiene un martillo accionado por aire comprimido. Es fácil de manejar y de bajo costo de mantenimiento y adquisición. Se utiliza en tareas menores o en zonas de difícil acceso.
- Perforadora hidráulica con martillo en cabeza, la que es mecanizada (montada sobre una oruga) muy similar a la neumática, con la salvedad de que son accionadas mediante aceite. Si bien el equipo es más caro, tiene mayor capacidad de perforación; su consumo de insumos es menor y tiene mayor facilidad para ser automatizada. Es utilizada tanto en operaciones subterráneas como de rajo abierto.
- Perforadora con martillo de fondo: En este caso, el pistón de compresión golpea directamente a la roca. Se acciona mediante aire comprimido; la roca molida o detrito se logra mediante el escape del aire del martillo a través de la broca. Están indicadas para el uso en minería subterránea de producción y para rajo abierto, en rocas duras y pozos de diámetro superior.

La perforación requiere principalmente de una fuente de energía (mecánica, térmica, hidráulica, etc.) la cual puede tener origen en equipos que operen en base a combustible o energía eléctrica. Otro insumo relevante es la barra de acero, que une la fuente de energía (pistón) con la broca. Por último, para barrer la roca molida o detrito desde el fondo de la perforación, es necesario utilizar fluidos de perforación, el que normalmente es agua o un flujo de aire. Si bien los dos son igualmente efectivos, tienen diversas aplicaciones. En el caso de agua, es excelente refrigerante y controla el polvo, sin embargo puede ser complejo su uso en

bajas temperaturas o en zonas donde su abastecimiento se dificulta. El aire aumenta la velocidad de perforación, pero sólo puede ser utilizado en lugares abiertos por el desprendimiento de polvo.

### Tronadura:

La tronadura tiene como fin lograr la fragmentación de la roca, sin afectar la estabilidad de la mina. Es un proceso fuertemente controlado, por los riesgos que representa y porque de su correcta ejecución depende la geomecánica de la zona tronada, el tamaño de la pila y una fragmentación adecuada de la roca. La zona a tronar es aislada y señalizada. Luego de chequear la profundidad de los pozos, se introduce en los explosivos un detonador, etapa que se conoce como primado. Luego, se cargan los pozos de perforación con explosivos, mediante camiones especiales conocidos como camiones fábrica. Se realiza el amarre del disparo, en donde se conectan de acuerdo a una secuencia y tiempos de iniciación establecidos en el diseño. Por último, los pozos son tapados con el detrito procedente de la perforación para aumentar la potencia de la tronadura. Luego de establecer una zona de seguridad, para evitar el acceso de equipos y personas, y de informar una hora de inicio, se inicia el disparo por parte de personal especializado. Los principales insumos de la tronadura corresponden a explosivos y accesorios. Por lo general, dada la complejidad del uso y manejo de los explosivos, este subproceso se contrata como servicio a los proveedores de explosivos, existiendo 2 principales en Chile: Enaex y Orica.

### Carquío:

El carquío consiste en la carga de material en carros o camiones para su transporte a sus posibles destinos: chancado, stock de mineral y botaderos. Este proceso es realizado, principalmente, por palas y cargadores. Las palas de cable son equipos de carquío de grandes dimensiones, cuyo balde puede superar los 45 [m<sup>3</sup>]. Su funcionamiento se logra mediante cables tensados y un tambor, que levantan el balde. Funcionan con energía eléctrica y se desplazan a través de orugas. Son máquinas aptas para todo tipo de material y poseen una alta disponibilidad y vida útil. Sin embargo, su precio es elevado, por lo que su uso se justifica sólo en proyectos de gran escala. Por otro lado, las palas hidráulicas tienen como ventaja su forma de desplazamiento, que es más rápido, y una menor necesidad de empleo de equipos auxiliares, pues el movimiento de su balde es más rápido y preciso. Se dividen en dos grupos: Palas frontales y retroexcavadoras, según su forma de carga. Pueden funcionar de forma eléctrica o diésel, siendo preferidas estas últimas por tener mayor autonomía. Los cargadores frontales son equipos de menor tamaño que las palas. Se utilizan en tareas auxiliares o de menor envergadura realizando carga y transporte en distancias cortas. Sus funciones son más diversas y es un equipo de uso general, por lo que pueden ser arrendados o revendidos con facilidad. El balde es más ancho que el resto del equipo. Utilizan diésel para su funcionamiento y tienen un costo no menor en neumáticos siendo entre el 10% y 20% de los costos de mantenimiento.

### Transporte:

Mediante el transporte se traslada el material mineralizado o lastre desde el yacimiento hacia los botaderos, acopios de stock o chancadores. Para los yacimientos de rajo abierto no sólo se extrae el mineral, sino también se necesita remover el lastre que lo rodea. Para ello, se utiliza una gran flota de equipos, siendo un proceso intensivo en capital y con alto impacto en los costos de operación.

El material extraído debe moverse a tres destinos posibles: botaderos en el caso del lastre, y a chancadores o pilas (de acopio o lixiviación) en el caso del mineral. La distancia de acarreo es un factor relevante en este tipo de tareas; para ello, las mineras utilizan el concepto de distancia equivalente de transporte, que es el trayecto promedio que realiza un camión por cada viaje considerando las condiciones de ruta (pendientes positivas y negativas). Para relacionarlo con la producción, se utiliza el de Tonelada –Kilómetro ([TK]), que se calcula multiplicando las toneladas de material extraído por la distancia media de transporte.

En operaciones de mayor escala se utilizan camiones de grandes dimensiones, con una tolva accionada por cilindros hidráulicos. Son de dos ejes, al que se le agrega un tercero si su carga sobrepasa las 350 [Ton]. Los motores utilizados en estos camiones son principalmente de tipo diésel, con diversos sistemas para aumentar la potencia y la economía de combustible. Otro insumo relevante en esta etapa son los neumáticos, cuyo desgaste depende de la cantidad transportada y distancia de acarreo, además de las características del terreno.

### Equipos auxiliares y servicios de apoyo:

Además de los procesos mencionados, existen una serie de tareas de apoyo realizadas para hacer la operación más eficiente y segura. Para ello, se utilizan una serie de equipos. Entre ellos, podemos mencionar los Bulldozer, Wheeldozer, Camiones Aljibe y Motoniveladoras.

**Bulldozer y Wheeldozer:** Estos equipos son tractores que se utilizan en tareas de apoyo al carguío, apilando el material a extraer por las palas, así como otras tareas menores. La diferencia entre el bulldozer y wheeldozer consiste en el tipo de desplazamiento: mientras el primero está montado sobre orugas, el segundo utiliza ruedas. Funcionan con motores diésel y su peso total cargado no supera las 100 [Ton].

**Motoniveladoras:** Tienen como función alisar el terreno para el paso de vehículos, moviendo y emparejando pequeñas cantidades de tierra. Funcionan mediante motores diésel y la nivelación del terreno se hace a través de una placa curva a la altura de sus ruedas y regulable, llamada hoja vertedera.

**Camiones Aljibes:** Las operaciones de extracción generan una gran polución que debe ser controlada, por un tema ambiental y de seguridad. Los camiones aljibes permiten regar sectores de la mina para controlar el polvo en suspensión.

En resumen, considerando los subprocesos de la extracción mina, tenemos que los gastos están asociados a los siguientes ítems: Mano de obra, servicios, combustibles, energía, otros insumos o materiales y contratistas (sub contratos del carguío y transporte). Por lo tanto, el gasto de mina obedece a una ecuación que tiene la siguiente forma

$$G_{mina} = C_{MO} \times Q_{MO} + C_{serv} \times Q_{serv} + C_{comb} \times Q_{comb} + C_{ener} \times Q_{ener} + C_{mat} \times Q_{mat} + C_{cont} \times Q_{cont}$$

Ecuación 1. Ecuación genérica del gasto Mina.

Dónde:

$G_{mina}$ : Gasto mina, en unidades monetarias

$C_{MO}$ : Costo unitario de la mano de obra

$Q_{MO}$ : Cantidad de mano de obra utilizada

$C_{serv}$ : Tarifa de los servicios utilizados

$Q_{serv}$ : Cantidad del servicio utilizado

$C_{comb}$ : Tarifa del combustible

$Q_{comb}$ : Cantidad de combustible consumido

$C_{ener}$ : Tarifa energía

$Q_{ener}$ : Cantidad de energía consumida

$C_{mat}$ : Precio de los materiales e insumos utilizados

$Q_{mat}$ : Cantidad de materiales e insumos utilizados

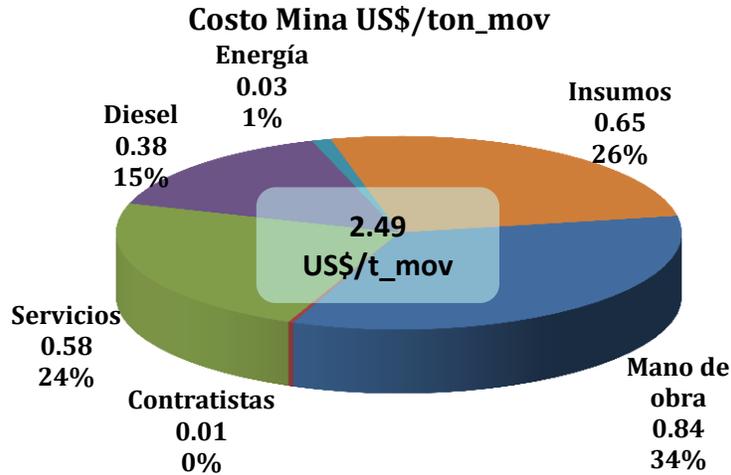
El costo mina puede ser valorizado desde el punto del material movido, el material extraído y el aporte al C1, en c/lb y ello dependerá del análisis o comparación que se quiera realizar.

Se utiliza el costo por material movido (US\$/t\_mov) para evaluar el costo total de mover una tonelada de material de la mina, sin importar su tipo (mineral - lastre) o destino (a planta, a stock, a botadero). Este costo permite comparar entre distintas operaciones, pues deja fuera la componente estructural del yacimiento (ley – relación estéril mineral). La única variable que diferencia una operación de otra es la distancia de transporte.

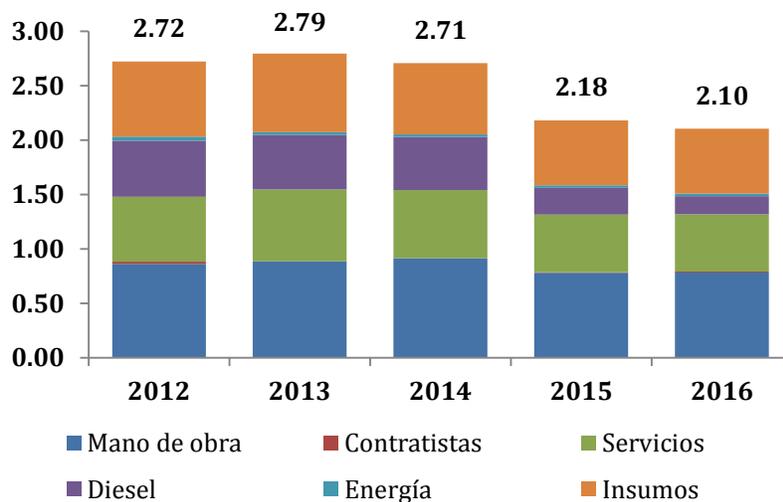
Se utiliza el costo por material extraído (US\$/t\_ext) para evaluar el costo total de extraer una tonelada de material (estéril o mineral), dejando fuera el remanejo (movimiento de material entre stock). Este dato es utilizado para gestión interna de las compañías, pues permite determinar el costo de realizar movimientos ineficientes de la operación.

El costo por libras producidas (c/lb), sólo tiene sentido para la composición del costo caja de la compañía, puesto que para efectos comparativos no tiene ninguna validez.

Al analizar los últimos 5 años (2016 proyectado) de la industria nacional del cobre, el costo mina (US\$/ton\_mov) tiene la siguiente estructura:



Graf. 4 Costo promedio mina para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**



Graf. 5 Costo mina (US\$/ton\_mov) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**

**Procesos comunes en el tratamiento de mineral.**

El proceso metalúrgico a seguir depende del tipo de mineral extraído. Un proceso común al tratamiento de sulfurados y oxidados es el chancado, el cual se realiza mayoritariamente en tres etapas, aunque en algunos casos (molienda SAG) se reduce sólo a una.

Los minerales sulfurados, son chancados y luego molidos hasta un tamaño de aproximadamente 180 [µm], para luego concentrar el mineral de cobre mediante flotación. El proceso termina con la fundición del concentrado para lograr cobre blíster o ánodo (98,5% a 99,5% de Cobre) y, en caso necesario, con la electro refinación, obtener cátodos de cobre con un 99,99% de pureza.

Los minerales oxidados, pasan por el proceso de chancado para luego ser sometido a un proceso de lixiviación donde se disuelve el cobre de la roca en una solución ácida. Esta solución es purificada mediante la extracción por solventes, para luego recuperar el cobre en forma sólida mediante la electro obtención. El producto final es el cátodo de cobre con un 99,99% de pureza.

#### Chancado primario:

Es el primer proceso de reducción del tamaño de las rocas, donde el mineral se reduce a un tamaño promedio entre 6" y 8". En el caso de minerales sulfurados que son molidos posteriormente, el chancado es realizado para permitir un transporte continuo de las rocas, generalmente a través de correas, hasta un acopio u *stockpile*. Para realizar el chancado primario hay básicamente dos tipos de equipos: los chancadores de mandíbulas y chancadores giratorios, siendo estos últimos los preferidos en plantas de gran capacidad (sobre 600 [Ton/h]). El chancador giratorio es un equipo compuesto de una cámara y un cono que rota de forma excéntrica, alejándose y acercándose a las paredes.

Los chancadores funcionan con energía eléctrica y sus mayores insumos son los elementos de desgastes, como cubiertas, aceros y correas.

#### Chancado secundario y terciario:

En estos procesos, el mineral es reducido a aproximadamente 3" y ½", respectivamente. En general, el chancador de conos es el más utilizado para estos fines. El chancador de conos es muy similar al giratorio, con la salvedad de que el eje del cono está sujeto a la base y no suspendido. Es cerrado y de menor tamaño, pero mantiene un mejor rendimiento al distribuirse mejor la alimentación por toda la cámara del chancador.

Para el chancado terciario, el chancador de conos más utilizado es de tipo cabeza corta (short head). Se diferencia del estándar por su cámara: el *short head* tiene un diseño adaptado para tratar mineral más fino, entregando un producto de menor tamaño y previniendo atascamientos por aglomeración.

### **Tratamiento de minerales sulfurados.**

#### Molienda:

Es la última etapa en los procesos de conminución (reducción de tamaño). En ella, el mineral se muele hasta un tamaño de no más de 0,2 [mm], de manera de poder liberar las partículas mineralizadas y separarlas posteriormente de la ganga en el proceso de flotación. Se realiza en tubos cilíndricos o cónico - cilíndricos, conocidos como molinos rotatorios. Para

incrementar el impacto y la abrasión, se ingresan al molino diversos elementos, como bolas de acero o barras.

En el caso de la minería del cobre, la molienda se realiza de forma húmeda y continua. Además, se le adiciona cal en forma de lechada que será útil para el siguiente proceso de flotación. Los equipos más utilizados para este fin son el molino de barras, el molino de bolas y el molino SAG. El molino de barras tiene en su interior tubos de acero de 3,5" que reciben el producto del chancado terciario. Las barras giran libremente cayendo sobre la roca a moler. El molino de bolas contiene esferas de acero (35% de la capacidad del molino) que impactan el mineral obteniéndose un producto más fino que el generado por el molino de barras. Comúnmente, un circuito de molienda contiene a los dos tipos de molino en serie, siendo el molino de bolas la etapa final. El molino SAG (semi autógeno) es de tipo cilíndrico cónico. Funciona en forma giratoria como el molino de bolas, pero reemplaza parte de la carga de acero con rocas de mayor tamaño del mismo mineral. Gracias a la existencia de lifters o levantadores, la roca sube y luego cae por gravedad arriba del resto de la carga. A diferencia del molino de barras, se necesita un tamaño de roca mayor para realizar esta molienda, por lo que el mineral se recibe directamente del chancador primario.

Los molinos SAG son de mayor capacidad y eficiencia, obteniéndose grandes ventajas en el consumo de energía y en una menor contaminación del mineral por el desgaste del acero, que se utiliza en menor cantidad. En un circuito de molienda reemplazan las funciones de chancado 2°, 3° y el molino de barras. Se operan generalmente en húmedo con un nivel de llenado total entre un 28 y un 35%, siendo el llenado de bolas de un 12%. La mayor parte de su alimentación, previa clasificación por tamaño, puede pasar directamente a la etapa de flotación, siendo el resto de la carga derivada principalmente a un molino de bolas.

### Flotación:

La flotación se considera la primera etapa de concentración selectiva del mineral, al separar de forma física los minerales que contienen cobre de aquellos que no tienen interés económico (ganga). El producto principal es el concentrado de cobre, con una ley que varía entre el 20 y el 40%. El mineral de cobre es tratado en varias etapas para separar el concentrado del relave, en celdas agitadas. Adicionalmente, si existen cantidades significativas de otro mineral valioso, como molibdeno, suelen ser separados obteniendo más de un tipo de concentrado.

La flotación se realiza en húmedo, en celdas agitadas con burbujeo de aire desde el fondo. La separación se realiza por las diferencias entre las propiedades de sus superficies: Las partículas que contienen cobre se adhieren a la burbuja y suben, mientras que la ganga se va hacia el fondo de la celda. Para modificar las propiedades superficiales de los minerales, se adicionan diversos reactivos, los cuales se clasifican según el efecto que tengan en la partícula. Mientras los activadores limpian la superficie del mineral, los colectores se adhieren al producto a recuperar y le permiten flotar en las celdas; de forma similar, depresores se adhieren a la ganga y le permite o facilita ir al fondo de la celda. Por último, los espumantes permiten formar mayor cantidad de burbujas de aire, a la vez de conferirles mayor resistencia.

Los equipos utilizados para la flotación se clasifican en dos grandes familias: celdas mecánicas y celdas neumáticas. Las celdas mecánicas son las más comunes. Tienen un agitador mecánico (rotor), y en el eje de este rotor, un tubo donde ingresa el gas hacia la pulpa. Este gas (normalmente aire o nitrógeno) es insuflado a la pulpa mediante un extractor o difusor que lo divide en pequeñas burbujas. A sus costados tienen canaletas que recogen el mineral flotado, por rebalse. Las celdas neumáticas más utilizadas son las de columna. Las celdas columnares tienen forma cilíndrica, con una altura entre 9 y 15 [m] y un diámetro de aproximadamente 1 [m]. El aire ingresa por el fondo y la alimentación cerca de la zona de limpieza. Tienen baja recuperación pero mejor selectividad que las mecánicas, por lo que son indicadas en etapas de limpieza de concentrado.

Los circuitos de flotación tienden a operar según un óptimo económico, dado por dos factores que se comportan de forma inversa: la ley del concentrado final y la recuperación de mineral de cobre. En base a su objetivo, se definen tres tipos de flotación: la flotación *rougher* (gruesa) que busca recuperar todo lo posible dejando el mínimo de mineral de cobre a relaves. Luego, sigue un circuito de flotación de limpieza o *cleaner*, que consiste en una o más etapas destinadas a aumentar la pureza del producto. Por último, está la flotación *scavenger* o de barrido, que vuelve a tratar el relave de uno de los tipos de flotación anteriores recuperando todo el mineral de cobre residual que pueda obtenerse de él, maximizando la recuperación. Estas etapas se componen de varios grupos (bancos) de celdas mecánicas, o celdas columnares en serie. Según la cantidad de mineral a tratar, pueden existir una o varias líneas en paralelo funcionando en la misma etapa.

Si el mineral contiene cantidades significativas de molibdeno, el concentrado colectivo se somete a un proceso de flotación selectiva, donde se hace flotar a la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) y se depresa el concentrado de cobre. Posteriormente, se pueden eliminar impurezas del concentrado de molibdeno mediante lixiviación férrica.

Finalizada, se elimina el excedente de agua mediante espesamiento y filtrado del concentrado, hasta una humedad cercana al 10%. Luego, el concentrado de cobre es transportado a las fundiciones (proceso que puede ser realizado por la misma minera, o enviado a fundidoras externas).

### Fundición:

En los procesos de fundición comienza el tratamiento piro metalúrgico del mineral sulfurado. En este proceso, el concentrado pasa a través de diversos procesos a altas temperaturas, donde el cobre presente en el mineral es separado del resto de las especies, siendo las impurezas más abundantes el hierro y el azufre. El producto es el cobre blíster (98 - 99,5%), ánodo de cobre (99,6%) o cobre RAF (99,9% de cobre).

### Electro refinación:

La electro refinación es un proceso hidro metalúrgico que tiene como fin refinar el ánodo obtenido del proceso de fundición. Para ello, éste se sumerge en una nave repleta de una solución ácida (180 -200 [g/l] ácido sulfúrico) a una temperatura cercana a los 60 [°C]. Mediante la aplicación de corriente (250 – 290 [A/m<sup>2</sup>]), se disuelve el ánodo de cobre, el que se deposita selectivamente en láminas iniciales de cobre, dispuestas alternadamente con los ánodos en la celda. El cobre depositado o cátodo es prácticamente puro (99,99%), lo que mejora su conductividad y hace apto su uso en componentes eléctricos, que constituye el 43% del mercado mundial. Las impurezas se depositan en el fondo, formando el barro anódico. Este barro contiene pequeñas cantidades de oro y plata, que son recuperadas otorgando un ingreso adicional.

### **Tratamiento de minerales oxidados.**

Luego de ser sometidos a chancado, los minerales oxidados siguen un tratamiento de tres pasos: uno de captación del cobre (lixiviación, LX), otro de purificación de la solución de cobre (extracción por solventes, SX), y por último, uno de recuperación del cobre de la solución. (Electro obtención, EW). Estos tratamientos ocurren en circuitos donde la solución de descarte de un proceso se suele reutilizar en el tratamiento anterior. El producto final es cobre electrolítico.

### Lixiviación:

La lixiviación consiste en transferir el mineral de interés de forma selectiva a una solución acuosa. En este proceso, el cobre presente en el mineral oxidado es soluble en ácido sulfúrico.

La más común es la lixiviación en pilas, donde el mineral chancado se organiza en acopios rectangulares de 3 a 8 [m] de altura. Se utilizan rocas chancadas de un tamaño que permita la percolación: si es de un tamaño menor, es necesario que se someta a aglomeración con ácido concentrado o solución de refino. También se utiliza ácido concentrado como pre tratamiento (curado ácido). La solución lixivante es regada sobre la pila y escurre a través de las rocas, obteniéndose una solución, llamada solución rica o PLS que contiene en promedio 5 [g/l] de cobre. La recuperación del cobre es cercana al 80%, con un tiempo de tratamiento de varios meses. El consumo de ácido se encuentra entre 20 y 60 [Kg/Ton] y un consumo de agua más bien bajo, cercano a 0,5 [m<sup>3</sup>/Ton] de mineral tratado. Si ésta es muy escasa, se utilizan goteros que pueden rebajar el consumo a la mitad, evitando la evaporación y el arrastre por el viento.

Las pilas pueden ser de tipo dinámico, en la que el mineral agotado se remueve y se reutiliza la base o permanentes, en que las nuevas pilas se cargan sobre las anteriores. Para el carguío se utilizan distintos sistemas según el tonelaje tratado; para faenas pequeñas (300 - 2000 [Ton] por día), se utilizan camiones y apiladores de correa autopropulsados. Para faenas entre 10 – 50 [Kton] diarias, el mineral se transporta en correas modulares articuladas, conocidas como *grasshoppers* (saltamontes), que terminan en un apilador de correa o *stacker*.

Para faenas aún mayores (75 - 150.000 [KTon] por día), se prefieren sistemas apiladores sobre orugas, alimentados con correas transportadoras de tipo estacionario y móvil. En pilas dinámicas, se utilizan palas de ruedas con cachos, conocidas como rotopala o bucketwheel.

La lixiviación puede efectuarse in situ, donde sólo se aplica una solución ácida a rocas previamente tronadas, siendo esta solución captada posteriormente. Este es el caso de la lixiviación en botaderos. Otro tipo es la lixiviación por percolación en bateas, tecnología que está prácticamente en desuso debido a sus altos costos operacionales.

La lixiviación en botaderos consiste en el tratamiento de minerales con una ley de cobre que no justifica un mayor tratamiento. Una variante es la lixiviación de rípios de descarte de antiguas lixiviaciones, cuya ley fue económicamente rentable al cabo del tiempo. Se forman capas de 5 a 10 [m]: una vez lixiviada esta capa, se retira antes de colocar una nueva capa encima. Las superficies se riegan con ácido para luego ser captadas por gravedad en piscinas o lagunas. Los ciclos pueden superar el año y proporciona bajas recuperaciones (entre 40 a 60%), pero también los costos operacionales son más bajos.

#### Extracción por solventes:

La extracción por solventes (SX) es un proceso de separación en el que el cobre en solución acuosa se capta selectivamente en otro líquido de distinta fase, para luego ser separado por decantación. En este proceso, la solución rica (PLS) obtenida en la lixiviación se mantiene en contacto con una mezcla de orgánicos disueltos, conocidos como reactivos extractantes. Estos orgánicos se mezclan con la solución rica en celdas agitadas y capturan el cobre en la solución, proceso que corresponde a la extracción propiamente tal. El orgánico cargado se separa posteriormente de la solución agotada, conocida como solución intermedia (ILS) o de refino.

En la etapa de descarga o stripping, el orgánico cargado se contacta y se separa de la misma forma con una solución llamada electrólito. Esta solución tiene una mayor acidez (180 [g/l] ácido sulfúrico), por lo que es capaz de extraer el cobre del orgánico. La concentración de cobre final de este electrólito es de 40 [g/l]. Para la extracción por solventes se utilizan tres tipos de reactivos:

- El extractante orgánico, que intercambia el cobre disuelto a través de diferencias de pH entre las fases. Un pH en un rango alto (1,4 a 2) causa que la fase orgánica capte el cobre, mientras que un pH más bajo, como el de la solución electrolítica, libera el cobre a la fase acuosa.
- El diluyente tiene como fin reducir la viscosidad de la fase orgánica y evitar una excesiva concentración de extractante. Debe ser insoluble en agua, no inflamable a la temperatura de operación, no interferir en la extracción ni descarga y ser de bajo costo. En el caso de extracción de cobre, se utiliza kerosene (parafina) de alta calidad.
- Los modificadores pueden intervenir en los equilibrios de extracción y descarga, mejorar la separación de fases o estabilizar la molécula del extractante para evitar que se degrade con el uso. Son normalmente alcoholes de cadenas largas u otros compuestos del tipo oxima.

La extracción por solventes se realiza en un equipo conocido como mezclador –decantador o *mixer-settler*. El diseño más estándar es del tipo bajo perfil, en que el mezclador se divide en varias cajas sucesivas en serie de baja altura.

Electro obtención:

La electro obtención es un proceso similar a la electro refinación, con la diferencia de que, en este caso, no se disuelve un ánodo de cobre sino que se deposita el cobre de un electrólito ya cargado. Los electrones necesarios para la deposición del cobre se logran mediante la disociación del agua, que se convierte en oxígeno gaseoso e iones de hidrógeno (H+). Para forzar esta reacción, se utiliza una densidad de corriente cercana a los 350 [A/m2].

La solución que contiene el cobre es llevada a naves que contienen alternadamente placas de 1 [m] de largo: la que recibirá el cobre depositado se conoce como cátodo y es normalmente una hoja de acero 316, aunque también se utilizan láminas iniciales de cobre. Se cierra el circuito con una lámina llamada ánodo, que está hecha de una aleación de plomo y bajas concentraciones de calcio y estaño. En el proceso se agregan dos aditivos: sulfato de cobalto (100 [ppm]), que disminuye el voltaje aplicado a la celda, y goma guar (1 [ppm]), que logra una deposición pareja en el cátodo. Se mantiene una temperatura de solución de aproximadamente 40 a 50 [°C].

El resultado final de este proceso es cobre electrolítico (99,99%) el que es despegado (“cosecha”), y enviado a su destino final.

Para efectos de análisis, es necesario separar los procesos de concentración de los de lixiviación, pues son completamente paralelos, en donde el mineral procesado no puede pasar por ambos tratamientos.

Para la concentración es posible separar en gasto de la producción del concentrado (molienda y flotación) de la refinación posterior (TCRC). Para el caso de la molienda y flotación, sus ítems de gastos pueden ser clasificados en: Mano de obra, servicios, combustibles, energía, insumo y/o materiales. Por lo tanto, su fórmula general de gasto estaría dada por:

$$G_{Milling} = C_{MO} \times Q_{MO} + C_{serv} \times Q_{serv} + C_{comb} \times Q_{comb} + C_{ener} \times Q_{ener} + C_{mat} \times Q_{mat}$$

Ecuación 2. Ecuación genérica del gasto Molienda y flotación.

Donde:

G<sub>milling</sub>: Gasto de molienda y flotación, en unidades monetarias

C<sub>MO</sub>: Costo unitario de la mano de obra

Q<sub>MO</sub>: Cantidad de mano de obra utilizada

C<sub>serv</sub>: Tarifa de los servicios utilizados

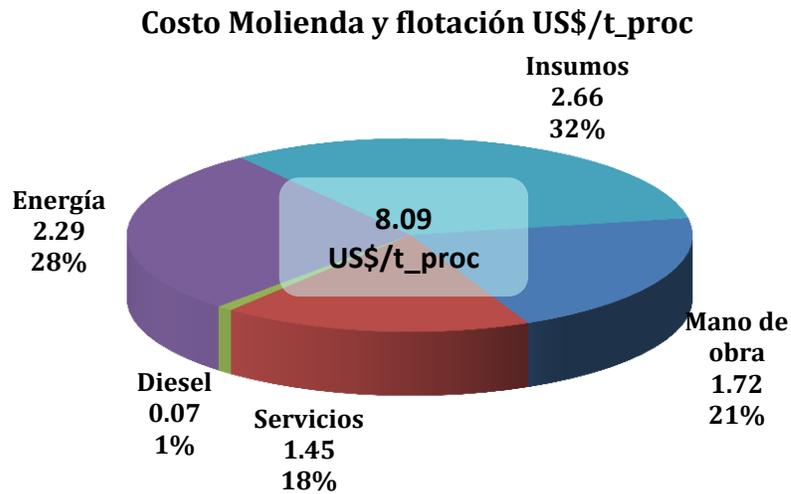
Q<sub>serv</sub>: Cantidad del servicio utilizado

- $C_{comb}$ : Tarifa del combustible
- $Q_{comb}$ : Cantidad de combustible consumido
- $C_{ener}$ : Tarifa energía
- $Q_{ener}$ : Cantidad de energía consumida
- $C_{mat}$ : Precio de los materiales e insumos utilizados
- $Q_{mat}$ : Cantidad de materiales e insumos utilizados

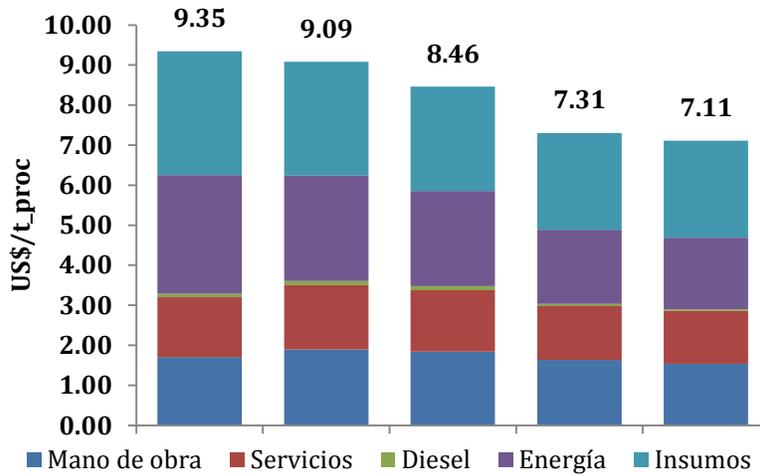
El costo de molienda y flotación puede ser analizado desde el punto vista del material procesado (US\$/ton\_proc) o el aporte al C1, en c/lb.

Se utiliza el costo por material procesado (US\$/ton\_proc) para evaluar el costo total de ingresar una unidad de material a la planta y producir concentrado en condiciones de ser embarcado (concentrado filtrado). Esta unidad permite hacer comparable el costo con otras plantas, puesto que deja de lado las propiedades intrínsecas de la operación, como son: ley de entrada, capacidad de recuperación, dureza del mineral, humedad, distancia a puerto y tratamiento de relaves. El costo por unidades de cobre producido en concentrado no tiene un mayor uso para efectos de comparaciones y competitividad.

Al analizar los últimos 5 años (2016 proyectado) de la industria nacional, el costo de molienda y flotación (US\$/ton\_proc) tiene la siguiente estructura:



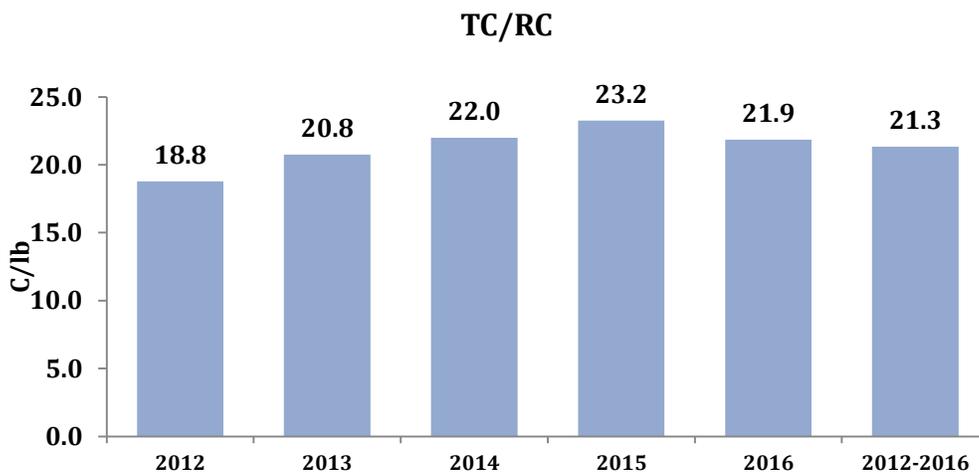
Graf. 6 Costo promedio molienda y flotación para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 7 Costo molienda y flotación (US\$/t<sub>proc</sub>) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

La refinación y electro obtención posterior a la concentración, por lo general, no es realizada por la misma operación, sino por grandes fundidoras y refinarias alrededor del mundo. Es por ello, que el costo asociado a este proceso (hasta conseguir el cátodo de cobre final) es considerado como un servicio externo que se carga al proceso y C1 para así completar el costo de producción de cobre de alta pureza. Este gasto se llama TC/RC (por sus siglas en inglés: treatment charges / refineries charges) y es aplicado como una tarifa, el cual es resultado de las negociaciones con los compradores de concentrado. El TC es valorizado en US\$ por tonelada de concentrado de cobre tratado y el RC en centavos por lb de cobre obtenido.

La calidad de los concentrados es relativamente estándar, con leyes que van desde el 20% a 40%. Es por ello, que para efectos comparativos se utiliza el costo TCRC en c/lb.



Graf. 8 Costo TC/RC (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

Para el caso de tratamiento por lixiviación es común separar el costo en: apilamiento y lixiviación (Leaching) y la extracción por solvente y electro obtención (SX-EW).

En el caso del leaching, se utiliza como unidad de costo comparable el US\$/t\_proc. Es decir, cuánto cuesta procesar una tonelada en la pila de lixiviación. Este costo es comparable, porque recoge procesos similares entre las operaciones: chancado, aglomeración, apilamiento, riego y remoción de ripios (para el caso de las pilas dinámicas). El hecho de no considerar la ley o alguna otra característica mineralógica permite compara distintas operaciones. En cambio el costo en c/lb sólo se utiliza para efectos de construcción del C1, pero no tiene mayor uso para comparar operaciones. En cuanto al tipo de tonelada procesada, hay diferentes criterios, algunas operaciones utilizan como denominador el tonelaje apilado en la pila y otras el tonelaje que entra en beneficio (riego). Para efectos de corto plazo hay diferencias entre ambos tonelajes, pero para períodos mayores o iguales a 1 año, la diferencia es marginal.

El gasto en este proceso puede ser desglosado en: Mano de obra, servicios, combustible, energía, ácido y otros insumos. Por lo tanto, su ecuación de gasto general puede ser escrita de la siguiente forma:

$$G_{leaching} = C_{MO} \times Q_{MO} + C_{serv} \times Q_{serv} + C_{comb} \times Q_{comb} + C_{ener} \times Q_{ener} + C_{acid} \times Q_{acid} + C_{mat} \times Q_{mat}$$

Ecuación 3. Ecuación genérica del gasto de apilamiento y lixiviación.

Donde:

$G_{Leaching}$ : Gasto de molienda y flotación, en unidades monetarias

$C_{MO}$ : Costo unitario de la mano de obra

$Q_{MO}$ : Cantidad de mano de obra utilizada

$C_{serv}$ : Tarifa de los servicios utilizados

$Q_{serv}$ : Cantidad del servicio utilizado

$C_{comb}$ : Tarifa del combustible

$Q_{comb}$ : Cantidad de combustible consumido

$C_{ener}$ : Tarifa energía

$Q_{ener}$ : Cantidad de energía consumida

$C_{acid}$ : Tarifa del ácido puesto en faena

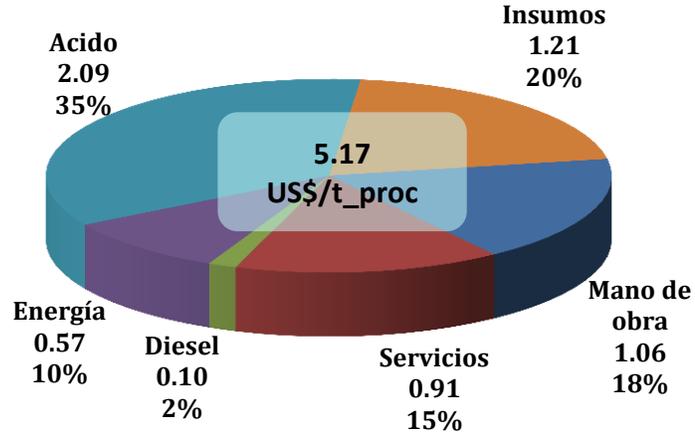
$Q_{acid}$ : Cantidad de ácido consumido.

$C_{mat}$ : Precio de los materiales e insumos utilizados

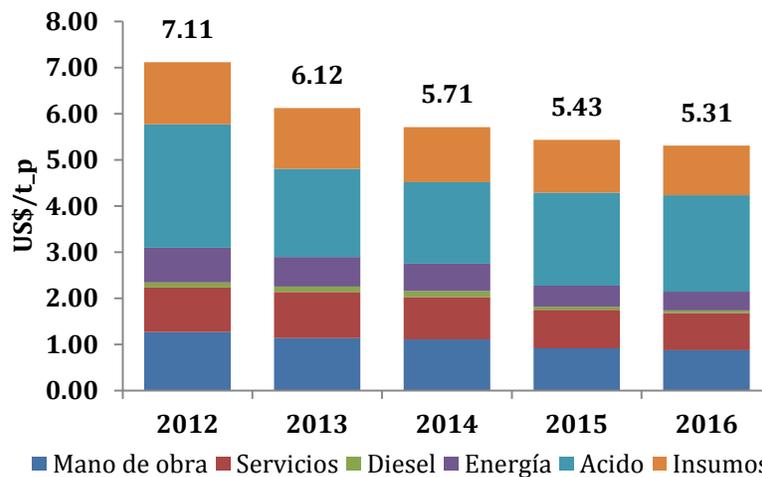
$Q_{mat}$ : Cantidad de materiales e insumos utilizados

Al analizar los últimos 5 años (2016 proyectado) de la industria nacional, el costo leaching (US\$/ton\_proc) tiene la siguiente estructura:

### Costo Leaching US\$/t\_proc



Graf. 9 Costo promedio leaching para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**



Graf. 10 Costo leaching (US\$/ton\_proc) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**

Para el caso de la extracción por solvente y electro obtención (SX-EW), se utiliza como costo comparable el c/lb. Esto, pues el proceso considera como unidad básica el caudal de PLS, que puede ser recogido de varios procesos de lixiviación, en donde el cobre va transportado en estado iónico hasta ser convertido en un cátodo en el proceso de la electro obtención. La concentración del PLS, operacionalmente, se mantiene estable en función de la capacidad de tratamiento de la planta SX, no importando la ley de entrada a la planta, pues la concentración del PLS se controla a través del mineral que entra en beneficio en la pila.

Los ítems de gastos principales para este proceso son: Mano de obra, servicios, energía, ácido y otros insumos. Por lo tanto, su ecuación general de gasto tiene la siguiente forma:

$$G_{SX-EW} = C_{MO} \times Q_{MO} + C_{serv} \times Q_{serv} + C_{ener} \times Q_{ener} + C_{acid} \times Q_{acid} + C_{mat} \times Q_{mat}$$

Ecuación 4. Ecuación genérica del gasto de SX-EW.

Donde:

$G_{SX-EW}$ : Gasto de molienda y flotación, en unidades monetarias

$C_{MO}$ : Costo unitario de la mano de obra

$Q_{MO}$ : Cantidad de mano de obra utilizada

$C_{serv}$ : Tarifa de los servicios utilizados

$Q_{serv}$ : Cantidad del servicio utilizado

$C_{ener}$ : Tarifa energía

$Q_{ener}$ : Cantidad de energía consumida

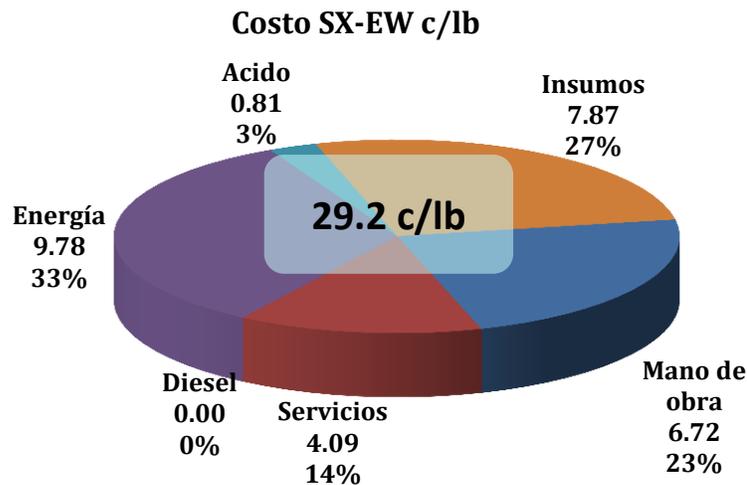
$C_{acid}$ : Tarifa del ácido puesto en faena

$Q_{acid}$ : Cantidad de ácido consumido.

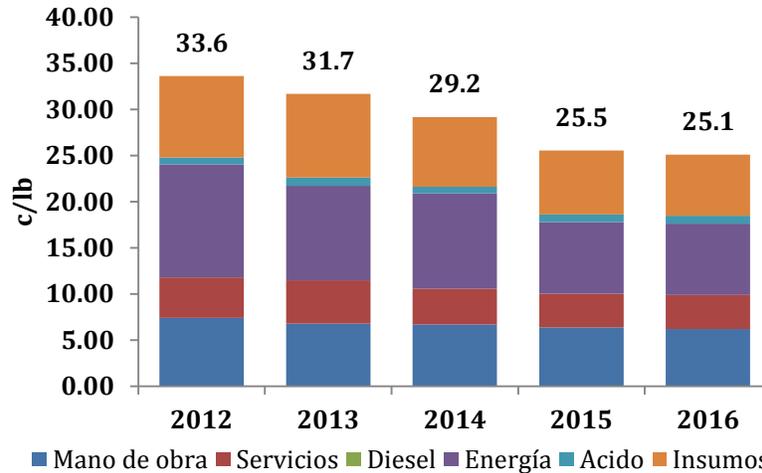
$C_{mat}$ : Precio de los materiales e insumos utilizados

$Q_{mat}$ : Cantidad de materiales e insumos utilizados

Al analizar los últimos 5 años (2016 proyectado) de la industria nacional, el costo SX-EW (c/lb) tiene la siguiente estructura:



Graf. 11 Costo promedio SX-EW para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 12 Costo SX-EW (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia.  
(Wood Mackenzie, 2016)

### Gastos indirectos (G&A).

Los gastos indirectos son todos aquellos que no están ligados directamente a la extracción y procesamiento del mineral para obtener el producto final, pero si son necesarios para que esto ocurra. Estos gastos están asociados principalmente a los servicios de apoyos como: administración, supervisión, planificación, gestión ambiental, gestión de salud y seguridad, relaciones laborales, servicios a las personas, estudios, TICA, contabilidad, control de gestión, gastos de oficina, etc. Los ítems de gastos son variados, pero pueden ser clasificados en: mano de obra, servicios, combustible, energía e insumos. Por lo tanto, la ecuación general para el gasto indirecto es de la siguiente forma:

$$G_{G\&A} = C_{MO} \times Q_{MO} + C_{serv} \times Q_{serv} + C_{comb} \times Q_{comb} + C_{ener} \times Q_{ener} + C_{mat} \times Q_{mat}$$

Ecuación 5. Ecuación genérica del gasto de G&A.

Donde:

$G_{G\&A}$ : Gasto de molienda y flotación, en unidades monetarias

$C_{MO}$ : Costo unitario de la mano de obra

$Q_{MO}$ : Cantidad de mano de obra utilizada

$C_{serv}$ : Tarifa de los servicios utilizados

$Q_{serv}$ : Cantidad del servicio utilizado

$C_{Comb}$ : Tarifa del combustible

$Q_{Comb}$ : Cantidad de combustible consumido

$C_{ener}$ : Tarifa energía

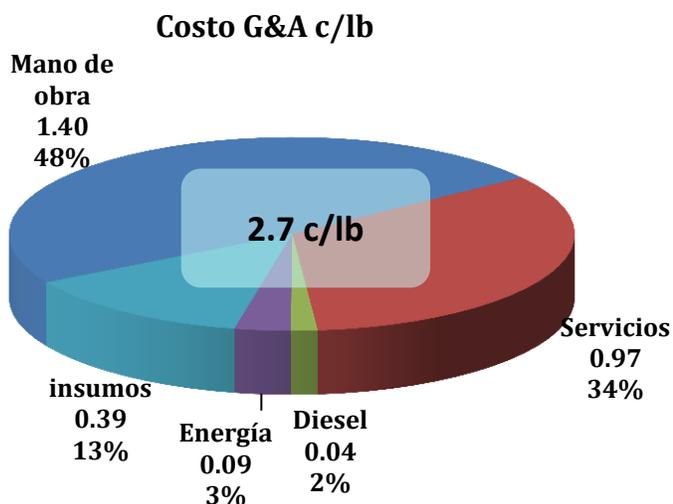
$Q_{ener}$ : Cantidad de energía consumida

$C_{mat}$ : Precio de los materiales e insumos utilizados

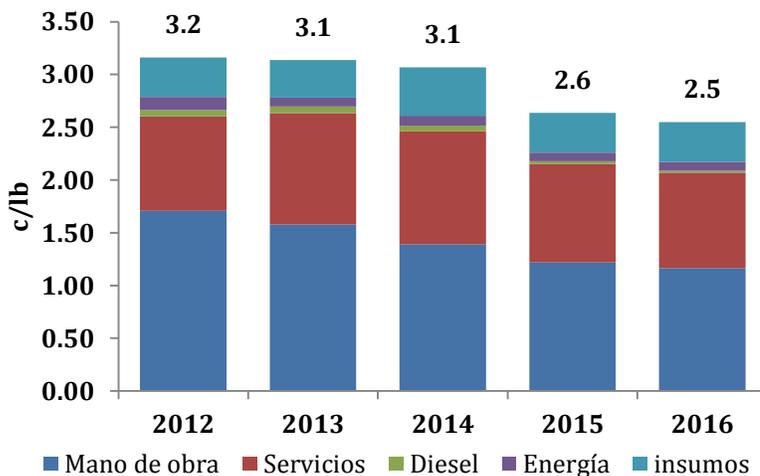
$Q_{mat}$ : Cantidad de materiales e insumos utilizados

Para efectos comparativos es posible utilizar el costo por unidad de cobre producida o el costo por unidad tratada. La estructura del G&A está relacionada con el tamaño de la operación y de las obligaciones internas y externas para operar.

Al analizar los últimos 5 años (2016 proyectado) de la industria nacional, el costo G&A (c/lb) tiene la siguiente estructura:



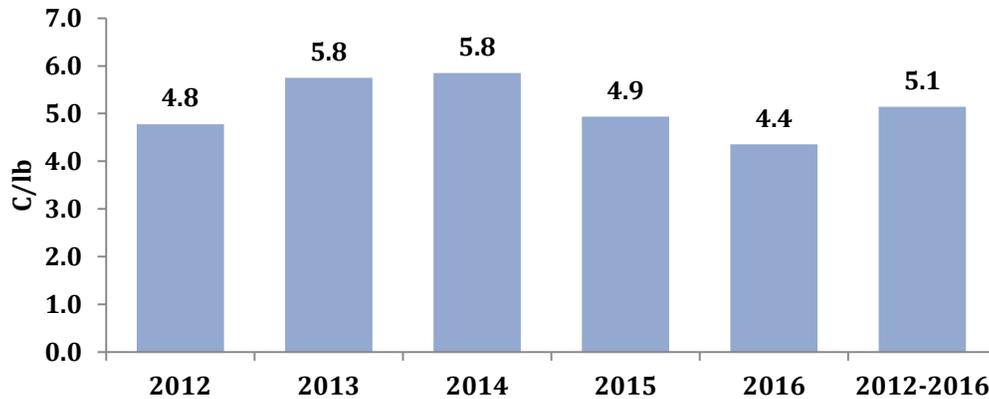
Graf. 13 Costo promedio G&A para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**



Graf. 14 Costo G&A (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**

Otro gasto incurrido por las operaciones mineras es la comercialización del cobre, el cual corresponde a los gastos asociados a la venta y transporte del producto hacia los mercados compradores (principalmente Asia, Europa y Norteamérica). Su valor es variable y depende de los contratos de ventas cerrados. Para efectos comparativos se utiliza el costo c/lb. Durante los últimos 5 años (2016 proyectado) el costo de comercialización se ha comportado de la siguiente forma.

## Shipping



Graf. 15 Costo comercialización (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016.  
Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

La suma de los costos mina, planta, G&A, TCRC y comercialización componen el costo pre crédito y representa el costo de producción sin ningún tipo de descuento por créditos de sub productos o capitalización de desarrollos mina. Este indicador permite comparar el costo operacional de distintas operaciones en relación al fino producido y se mide en c/lb. Como fue visto en los puntos anteriores, los ítems de gastos son parecidos entre los procesos, por lo que es posible construir la ecuación del costo pre crédito de la siguiente forma:

$$G_{PC} = C_{MO} \times Q_{MO} + C_{serv} \times Q_{serv} + C_{comb} \times Q_{comb} + C_{ener} \times Q_{ener} + C_{acid} \times Q_{acid} + C_{mat} \times Q_{mat} + TCRC + Shipping$$

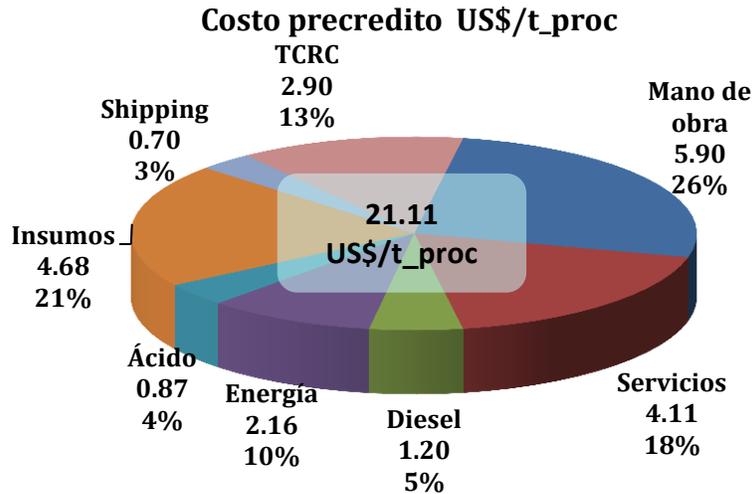
Ecuación 6. Ecuación genérica del gasto pre crédito.

Donde:

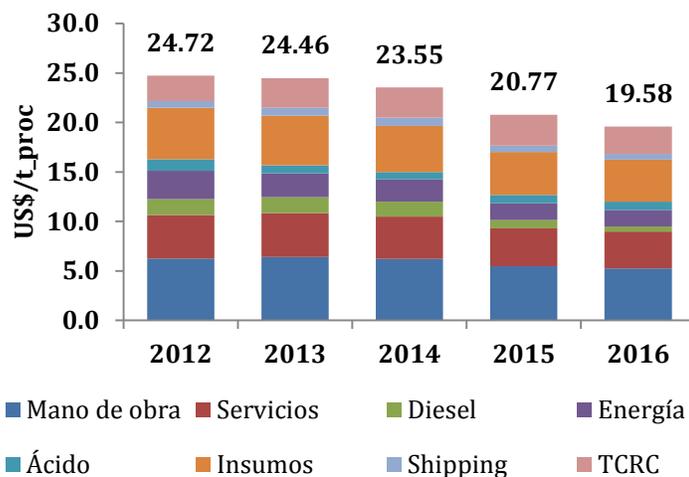
- G<sub>G&A</sub>: Gasto de molienda y flotación, en unidades monetarias
- C<sub>MO</sub>: Costo unitario de la mano de obra
- Q<sub>MO</sub>: Cantidad de mano de obra utilizada
- C<sub>serv</sub>: Tarifa de los servicios utilizados
- Q<sub>serv</sub>: Cantidad del servicio utilizado
- C<sub>Comb</sub>: Tarifa del combustible
- Q<sub>Comb</sub>: Cantidad de combustible consumido

$C_{ener}$ : Tarifa energía  
 $Q_{ener}$ : Cantidad de energía consumida  
 $C_{acid}$ : Tarifa ácido  
 $Q_{acid}$ : Cantidad de ácido consumido  
 $C_{mat}$ : Precio de los materiales e insumos utilizados  
 $Q_{mat}$ : Cantidad de materiales e insumos utilizados  
 TCRC: Gastos de fundición y refinería  
 Shipping: Gastos de comercialización

Si consideramos la contribución de los ítems por tonelada procesada en planta (concentradora + lixiviación), es posible ver que el peso y tendencia de los últimos 5 años (2016 proyectado) en el costo operacional es el siguiente.



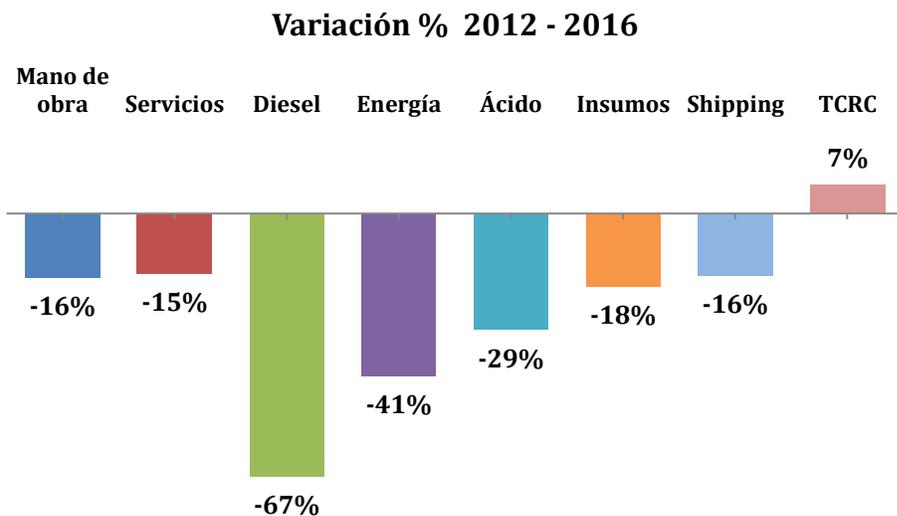
Graf. 16 Costo promedio pre credito para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 17 Costo Precredito (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016.  
Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

En la gráficas anteriores es posible apreciar que el ítem que mayor repercute en el costo operacional de las mineras en Chile es el costo de la mano de obra (26% del costo), seguido por los materiales e insumos (18%). Estos dos ítems no han tenido una baja sustancial los últimos 5 años, como la realizada por los insumos principales (energía, ácido y diésel) que representan el 19% de los costos.

Tomando en cuenta la evolución de los costos de los últimos 5 años, el costo de TCRC es el único que está al alza, aunque ya el 2016 presenta un costo menor al 2015, por lo tanto, es de esperar que siga la tendencia de los otros ítems de gastos. La variación porcentual entre el 2012 y 2016 se muestra en la siguiente gráfica.

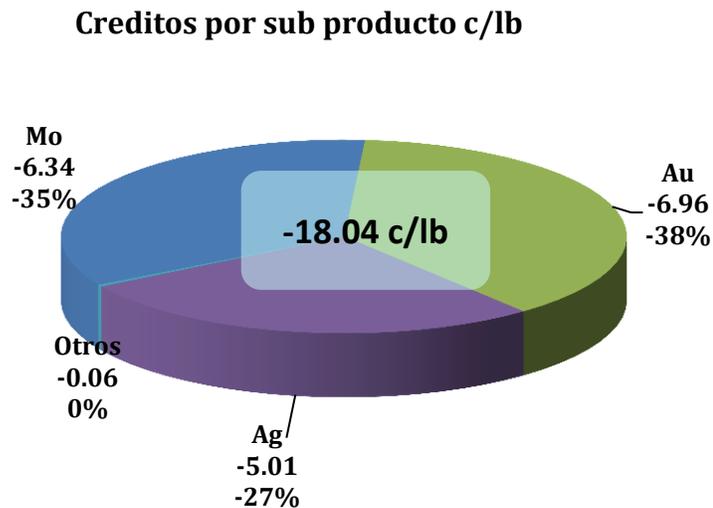


Graf. 18 Variación del costo entre 2012 -2016 por ítem de gasto. Elaboración propia.  
**(Wood Mackenzie, 2016)**

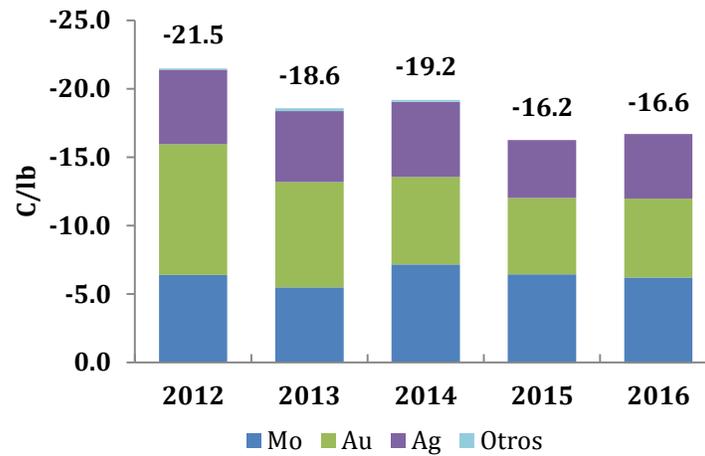
Para efectos de estándar, como se mencionó anteriormente, el costo pre crédito se mide en c/lb. Bajo esta mirada el costo ha bajado un 14% (180 c/lb a 155 c/lb) en la industria nacional, 4% menos de lo que ha bajado en US\$/t\_proc, lo cual muestra que los yacimientos van perdiendo ley en el tiempo, lo que provoca una menor producción para el mismo nivel de procesamiento.

Por último, para terminar de componer el costo C1, es necesario incluir el crédito de los subproductos. Por lo general, aquellas operaciones que poseen minerales sulfurados y ocupan la concentración como proceso de tratamiento del mineral, pueden extraer otros productos durante la flotación, asociados a los cuerpos mineralizados de cobre, como lo son el oro, plata y molibdeno, entre otros. La venta de estos productos asociados actúa como un costo negativo, mejorando el costo caja de las operaciones. Esto es determinante, la sola presencia de altas leyes de algún subproducto importante, puede llevar a una operación a tener costos operacionales negativos. El aporte de créditos está asociado mayormente al precio de los subproductos más que a la cantidad producida del mismo. Por ejemplo, tomando como referencia el precio promedio del 2015, una onza de oro (1225 US\$/oz) equivale a 75 oz de plata (16,3 US\$/oz).

La proporción de los aportes de los sub productos desde el 2012 al 2016 se pueden ver en la siguiente gráfica.



Graf. 19 Aporte de los subproductos para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**



Graf. 20 Créditos subproductos (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016.  
Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

Por lo tanto, la fórmula genérica del C1 se podría escribir de la siguiente manera:

$$G_{C1} = C_{MO} \times Q_{MO} + C_{serv} \times Q_{serv} + C_{comb} \times Q_{comb} + C_{ener} \times Q_{ener} + C_{acid} \times Q_{acid} + C_{mat} \times Q_{mat} + TCRC + Shipping + Créditos$$

Ecuación 7. Ecuación genérica del gasto C1 (cash cost).

Donde:

$G_{G\&A}$ : Gasto de molienda y flotación, en unidades monetarias

$C_{MO}$ : Costo unitario de la mano de obra

$Q_{MO}$ : Cantidad de mano de obra utilizada

$C_{serv}$ : Tarifa de los servicios utilizados

$Q_{serv}$ : Cantidad del servicio utilizado

$C_{Comb}$ : Tarifa del combustible

$Q_{Comb}$ : Cantidad de combustible consumido

$C_{ener}$ : Tarifa energía

$Q_{ener}$ : Cantidad de energía consumida

$C_{acid}$ : Tarifa ácido

$Q_{acid}$ : Cantidad de ácido consumido

$C_{mat}$ : Precio de los materiales e insumos utilizados

$Q_{mat}$ : Cantidad de materiales e insumos utilizados

TCRC: Gastos de fundición y refinera

Shipping: Gastos de comercialización

Créditos: Venta de los subproductos (con signo negativo).

## 2. Análisis de las variables endógenas que afectan los costos de la industria minera

Las operaciones mineras están condicionadas estructuralmente por características propias del yacimiento (leyes, relación estéril-mineral, distancias de transporte, tipo de mineralización, altura, cercanía a centros urbanos, etc). Es por ello, que es necesario entender si existe alguna correlación entre estas características y el costo de los procesos. De existir algún tipo de correlación, implica que existe una fracción del costo asociado a esa condición que no puede ser gestionada y obedece a las condiciones propias de la operación.

Para esto, se analizará la data de las operaciones chilenas de los últimos años, con el fin de identificar correlaciones existentes entre distintas condiciones o características y el costo operacional por proceso, desglosando el ítem de gasto en precio y cantidad. De existir una correlación evidente, se modelará la variable con el fin de obtener la fracción gestionable y la no gestionable.

### ***Distancia equivalente.***

Para hacer comparable la data de las operaciones en los procesos mina, se utilizará la unidad  $US\$/t\_mov*km$ . Esto, porque el costo unitario de mover una tonelada no es comparable para distintas distancias de transporte. Si bien, el costo va a estar influenciado por el perfil de transporte (pendientes y condiciones de camino), la distancia equivalente (distancia promedio de un ciclo) homogeniza esta condición.

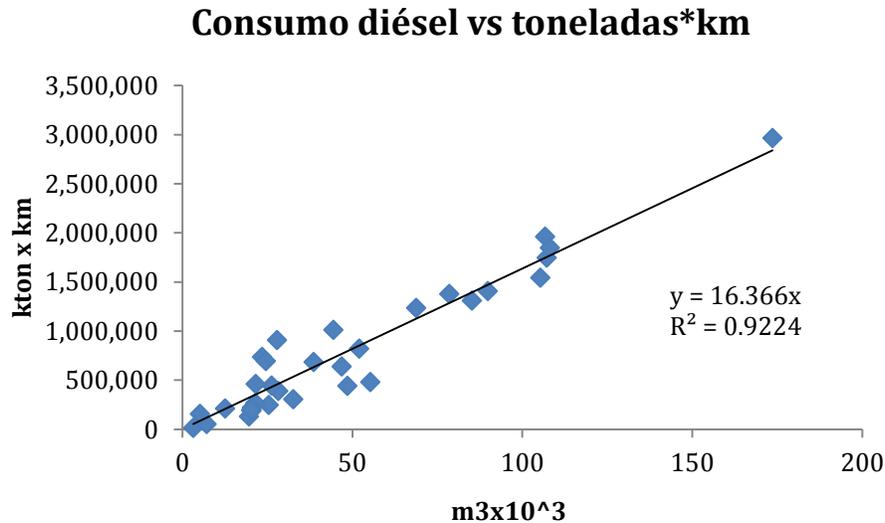
La distancia equivalente no es un dato público de las operaciones mineras y cambia año a año en función de la estrategia y avance en la explotación del yacimiento. Pero, en algunos estudios realizados a nivel nacional, aparece este valor como un promedio ponderado por año para algunas compañías. Ese es el caso de los informes realizados por consultora Encare que realiza estudios de benchmarking a nivel nacional, incluyendo a 18 de las principales compañías mineras del país.

Con el fin de poder homogenizar el proceso de extracción mina, independizándola de la distancia equivalente de transporte, es necesario calcular una distancia para cada operación. Para esto se usarán los datos entregados por ENCARE (2012 – 2015), con los cuales se buscará una relación que permita estimar la distancia equivalente.

El gasto que está directamente relacionado con la distancia de transporte es el consumo de combustibles de los camiones mineros. De la data obtenida de los modelos de Wood Mackenzie, es posible tener la tarifa del diésel, el costo unitario por tonelada movida del combustible en el rajo y la cantidad de material movido. Con estos datos es posibles construir un modelo que relacione el consumo de combustible con las toneladas por km transportadas.

Llevando los datos a una gráfica (Graf. 21), el resultado indica que efectivamente existe una relación lineal entre el consumo de combustible y la distancia recorrida por unidad transportada, con un coeficiente de determinación del 92%. Esta relación se considera

aceptable, considerando que los datos de consumo de combustibles pueden estar algo distorsionados por el consumo de combustible de otros equipos mina de movilidad autónoma (palas, perforadoras, equipos auxiliares).



Graf. 21 Consumo diesel vs ton\*km operaciones mineras Chile: 2012 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)& (ENCARE, 2015)**

Usando la tendencia mostrada en el gráfico anterior, es posible despejar la distancia equivalente calculada (Ecuación 8). Esta distancia calculada será la utilizada para efectos de evaluación de la metodología. En caso de existir data suficiente o completa de la distancia equivalente, debería usarse la data real y así evitar arrastrar los errores asociados a esta estimación.

$$D_{equiv} = \frac{16.4xQ_{Diesel}}{Mov\_total}$$

Ecuación 8. Cálculo de la distancia equivalente en función del consumo de combustible y el movimiento mina

Donde:

$D_{equiv}$ : Distancia equivalente promedio en km

$Q_{Diesel}$ : Consumo de diésel en miles de m3

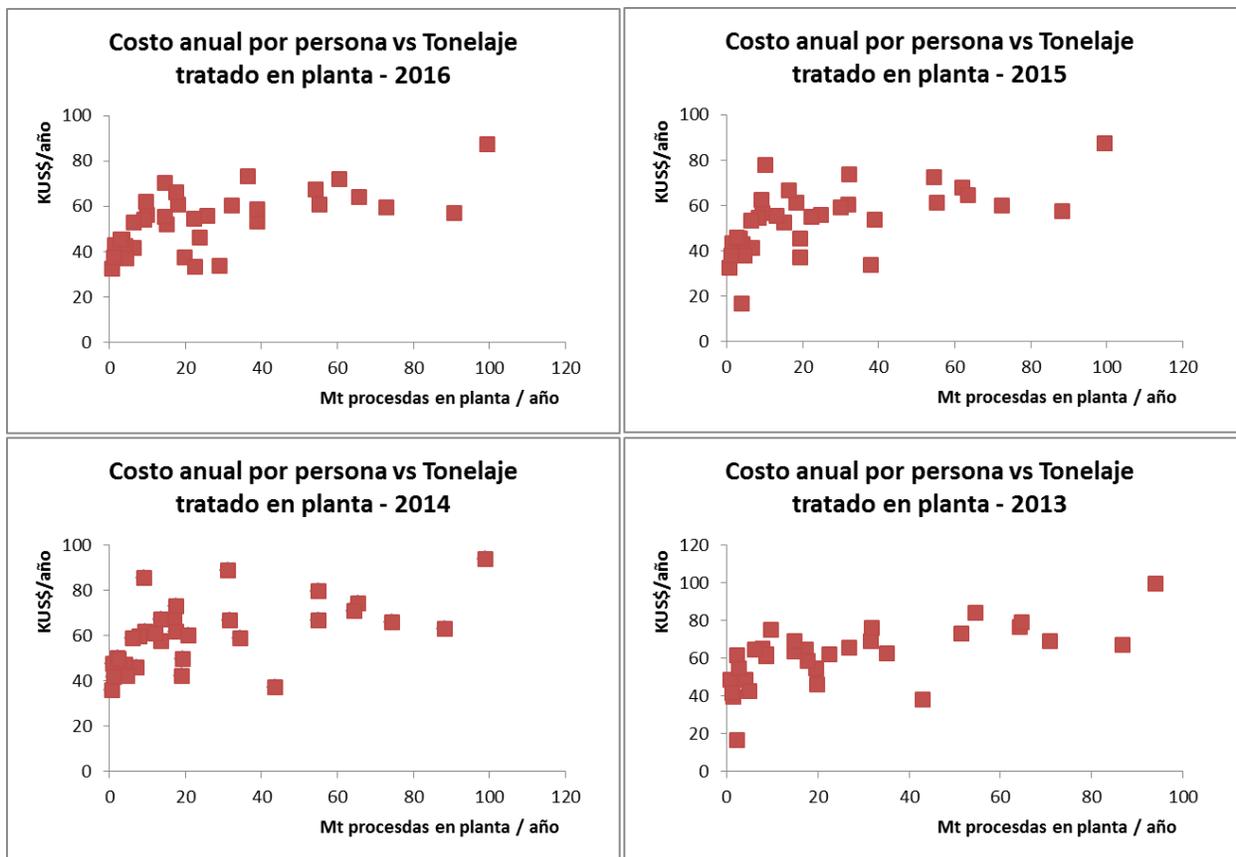
$Mov\_total$ : Movimiento total mina en miles de toneladas.

Para el resto de los procesos se usarán las unidades de comparación expuestas en el capítulo anterior y que son datos publicados por la consultora.

### Mano de obra.

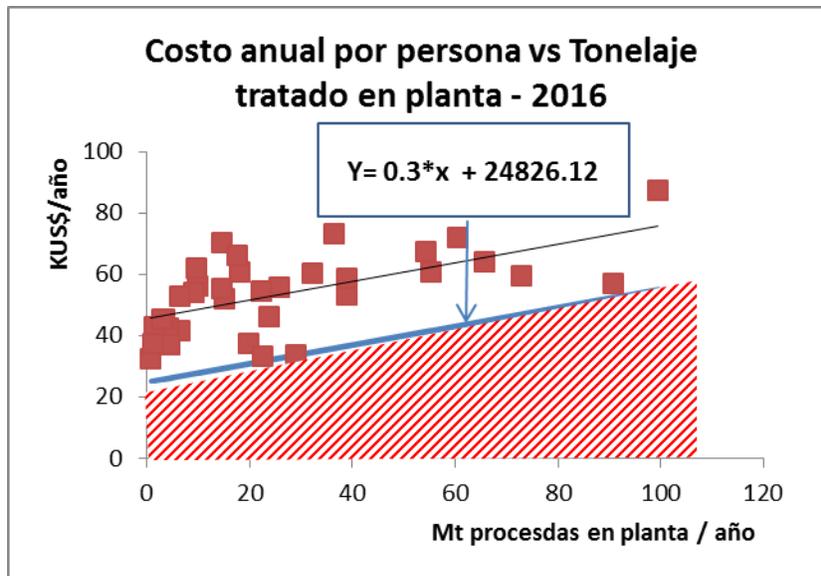
El gasto de la mano de obra, resulta de la multiplicación entre el costo promedio por persona por la cantidad de personas que trabajan en la operación en los distintos procesos. Las condiciones internas que pueden afectar el precio de mano de obra son: El tamaño de la operación (caracterizado por su capacidad de tratamiento), la cantidad de cobre que produce y la ubicación geográfica (altura y distancia a centros urbanos).

Si se analiza la tendencia de los últimos 4 años, es posible ver que efectivamente existe una correlación entre la capacidad de tratamiento de la operación y su costo de mano de obra, es decir, operaciones más grandes, tienen un costo de mano de obra mayor, situación que se ha ido acentuando con los años.



Graf. 22 Costo de mano de obra anual vs capacidad de procesamiento planta: 2013 - 2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

Considerando sólo el año 2016 (proyectado), es posible definir una zona del costo por persona no gestionable, trasladando la regresión lineal de los puntos por debajo de todos los datos, manteniendo la pendiente. Esto permite calcular una zona en la cual, dadas las condiciones de la operación, no es posible llegar por gestión directa de corto plazo, llamada "zona no gestionable".



Graf. 23 Zona no gestionable costo por persona en función del tratamiento 2016.  
Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

El límite superior de la zona gestionable corresponde a la operación que presente el menor costo dada su capacidad de procesamiento y obedece a la siguiente ecuación.

$$y' = m * x + c - |\min(Y^R(x) - Y^M(x))|$$

Ecuación 9. Ecuación genérica para límite superior para zona no gestionable del precio de un recurso.

Donde:

$Y'$ : Mínima tarifa que puede optar la operación de tamaño  $x$

$m$ : Pendiente de la regresión lineal de la colección de datos

$x$ : Tamaño de la operación

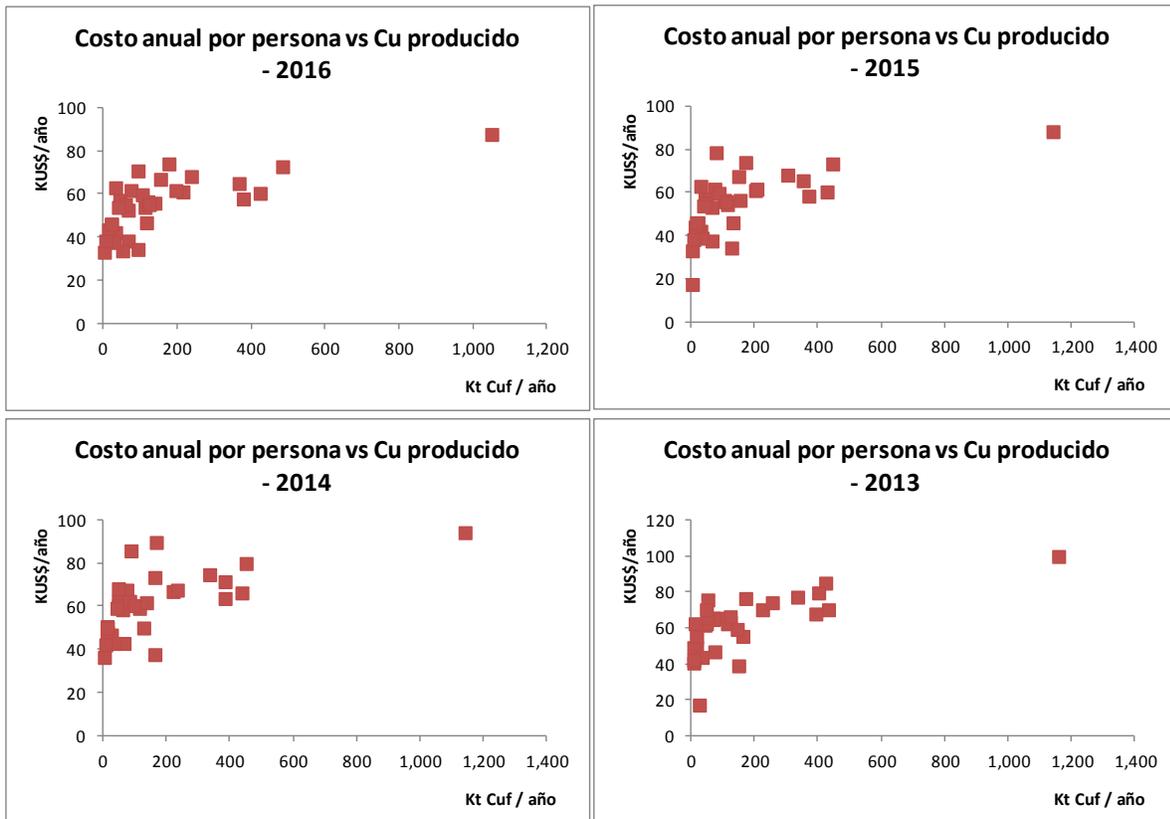
$c$ : Intercepto de la regresión lineal de la colección de datos

$Y^R$ : Tarifa real para la operación de tamaño  $x$ .

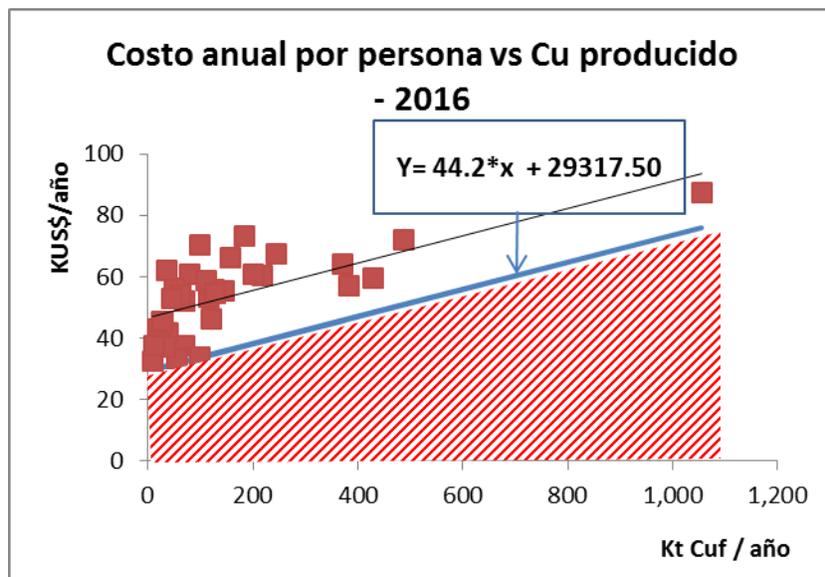
$Y^M$ : Tarifa modelada por la regresión lineal de la colección de datos

De la misma forma si se analiza el costo de la mano de obra al año en función de la cantidad de cobre producida por la operación, también, es posible apreciar una correlación positiva, es decir, operaciones con mayor producción de cobre tienen costos de mano de obra más alto. Esto es algo distinto a lo anterior, porque el tamaño de tratamiento no implica que la operación va a tener retornos proporcionales al tratamiento, esto dependerá de la ley de alimentación a la planta y la recuperación metalúrgica.

Para esta variable, también es posible construir una zona no gestionable el costo de la mano de obra para el año 2016 (Graf. 25).

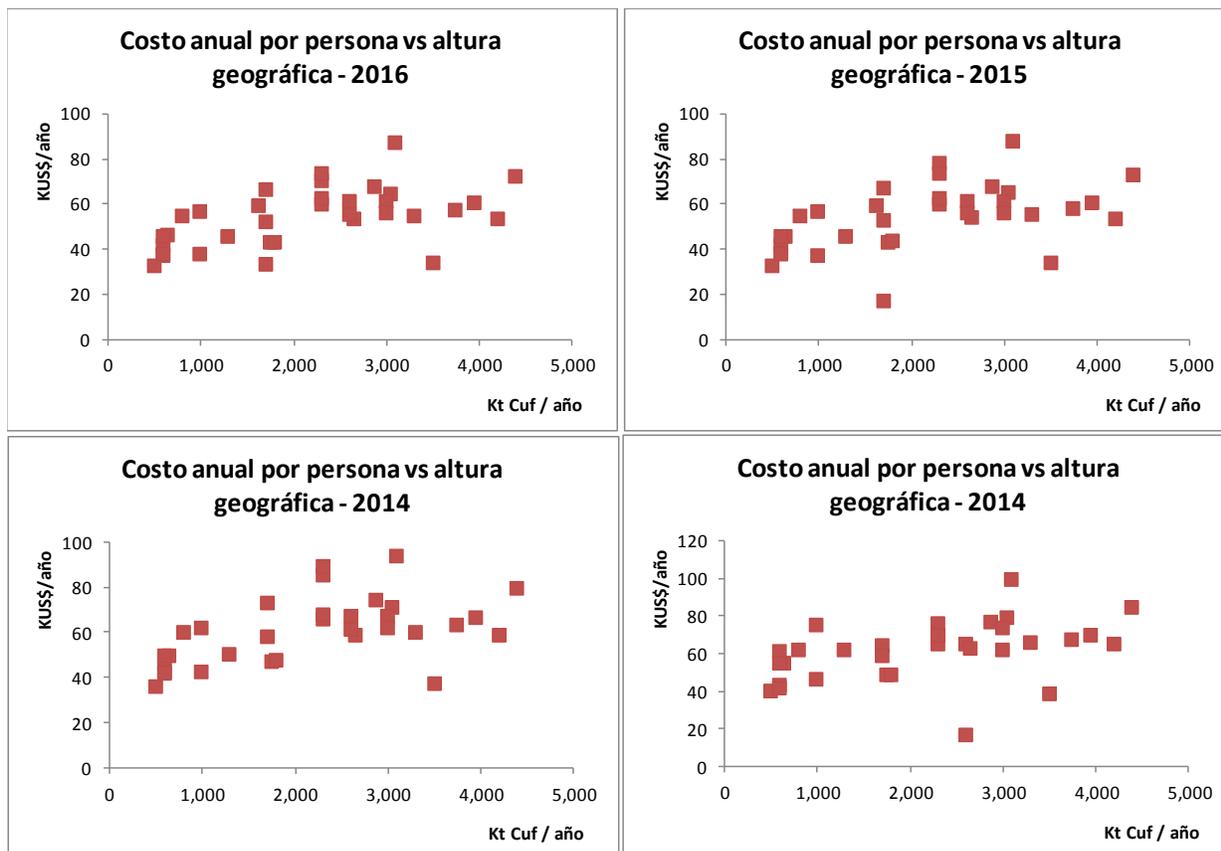


Graf. 24 Costo de mano de obra anual vs cobre producido: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 25 Zona no gestionable costo por persona en función del cobre producido 2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

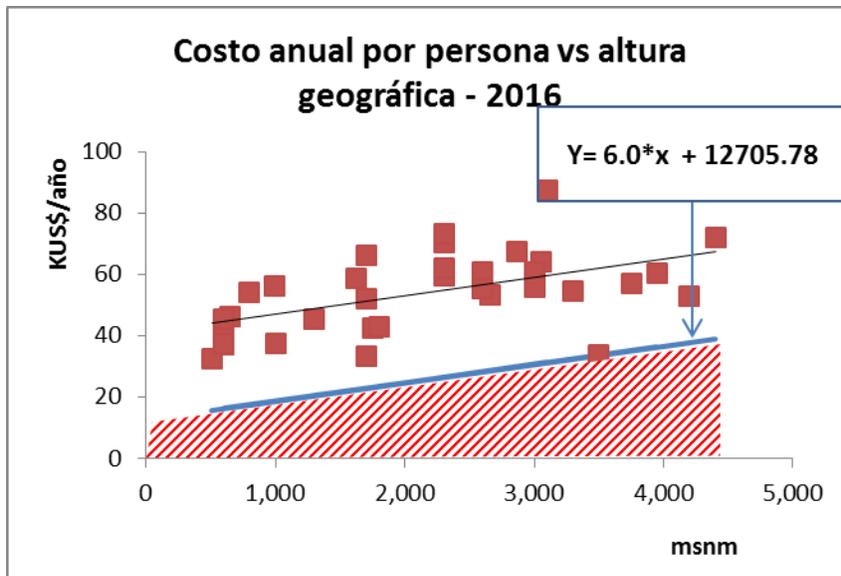
Al analizar la altura geográfica de las operaciones y su impacto en el costo de la mano de obra, también es posible encontrar una correlación positiva que se ha ido acentuando a través de los años. Operaciones con mayor altura geográfica tienen un costo mayor de la mano de obra, dadas las condiciones extremas en las que se opera. De la misma forma, es posible calcular su zona no gestionable.



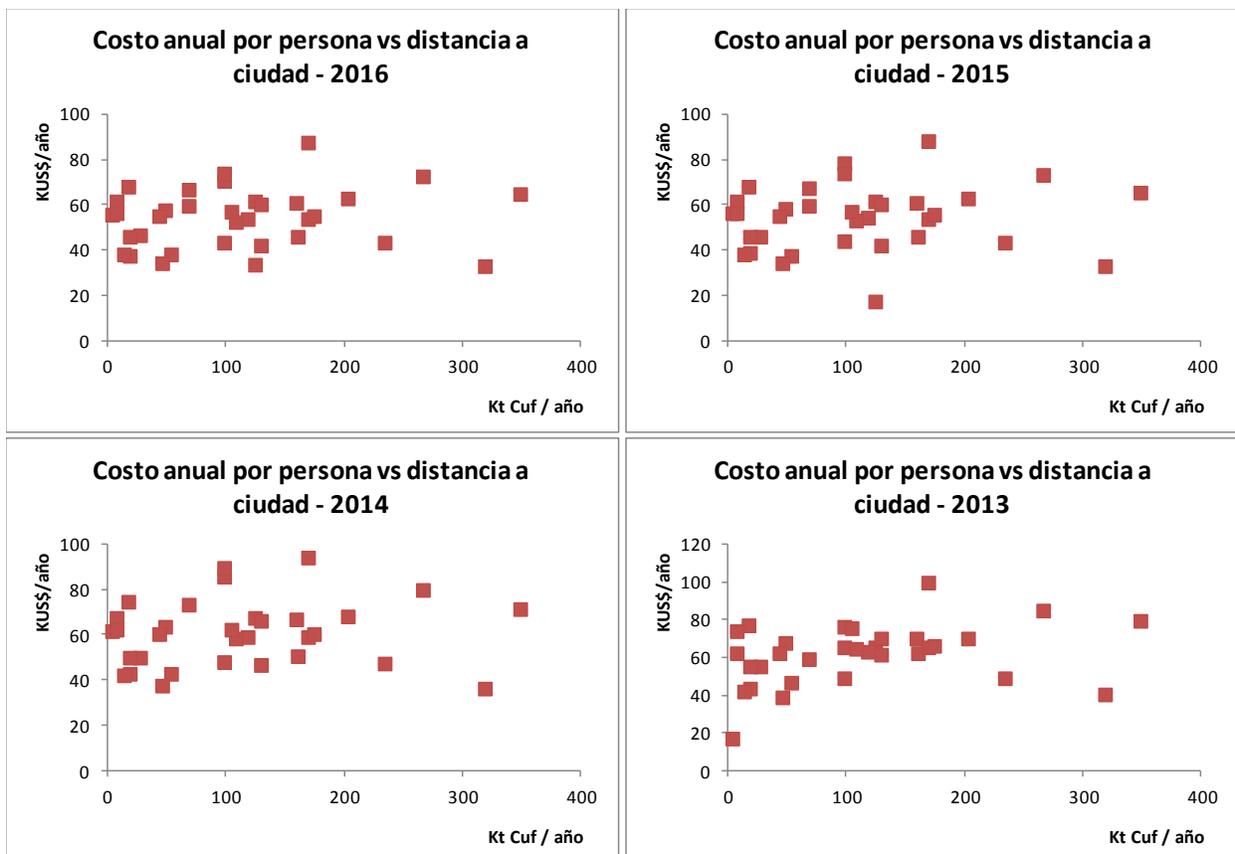
Graf. 26 Costo de mano de obra anual vs altura geográfica: 2013 -2016. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**

Por último, al graficar el costo de mano de obra en función de la distancia al centro urbano más cercano no se ve una clara correlación, por lo tanto, no se considerará una variable determinante para medir el potencial competitivo.

El valor gestionable del costo de la mano de obra estará dado por la zona libre que quede de la superposición de las áreas no gestionables, es decir, el máximo valor no gestionable para una operación condicionará su potencial competitivo.



Graf. 27 Zona no gestionable costo por persona en función de la altura geográfica 2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 28 Costo de mano de obra anual vs distancia a centro urbano: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

La cantidad de personas utilizadas en los procesos de explotación puede estar condicionada por el tamaño de la operación (mina, planta y G&A), su ubicación geográfica (altura) y el nivel de producción. En forma similar a lo realizado con el precio de la mano de obra, se buscarán correlaciones con la cantidad de HH utilizadas en cada proceso. Se considera dotación del proceso, aquel personal que está directamente relacionado con la actividad productiva, todo el personal de apoyo y supervisión indirecta está considerado dentro del G&A. Dado lo anterior, es esperable una relación directa entre la cantidad de HH utilizadas en el proceso y el volumen de trabajo realizado, como lo muestra la Fig 18. Esta figura esquematiza el caso de dos operaciones que tienen la misma cantidad de trabajo realizado, pero ocupan distintas cantidades de HH. Es posible decir que la operación (2) hace un uso más eficiente de los recursos, puesto que utiliza menos HH que la operación (1).

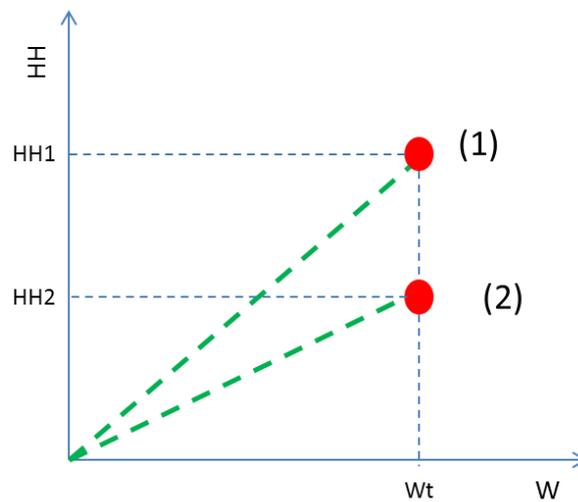


Fig 18 Relación recursos - trabajo para dos operaciones (Elaboración propia).

Luego, en un universo de compañías a comparar, la operación que presente la mejor relación entre la cantidad del recurso utilizado y la cantidad de trabajo por realizar, será la más eficiente en el uso de ellos, y por ende, el referente de la industria para el proceso en evaluación. Este referente funciona como límite inferior de la zona gestionable de cada operación en el uso del recurso, en este caso la mano de obra. Por lo tanto, la zona no gestionable corresponderá al área bajo la recta que pasa por el origen y la operación con la menor relación Recurso – trabajo, es decir:

$$R' = \min\left(\frac{R_i}{W_i}\right) * W$$

Ecuación 10. Ecuación genérica para límite superior para zona no gestionable de la cantidad de un recurso.

Donde:

$R'$ : Mínima cantidad de recursos que podría utilizar una operación para realizar  $W$  unidades.

$R_i$ : Recursos utilizados en la operación  $i$  para realizar  $x$  cantidad de unidades.

$W_i$ : Volumen de trabajo de la operación  $i$

$W$ : Volumen de trabajo.

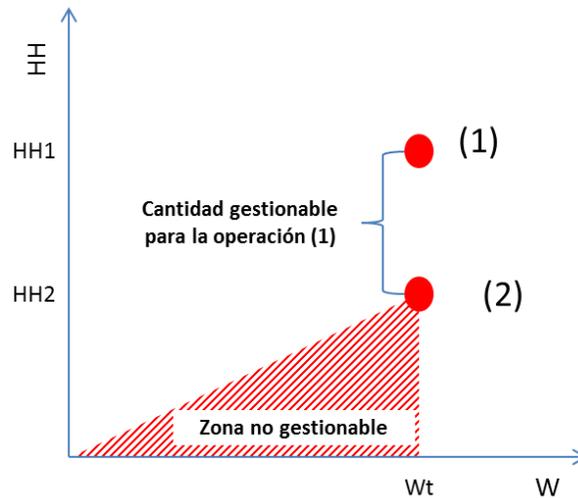
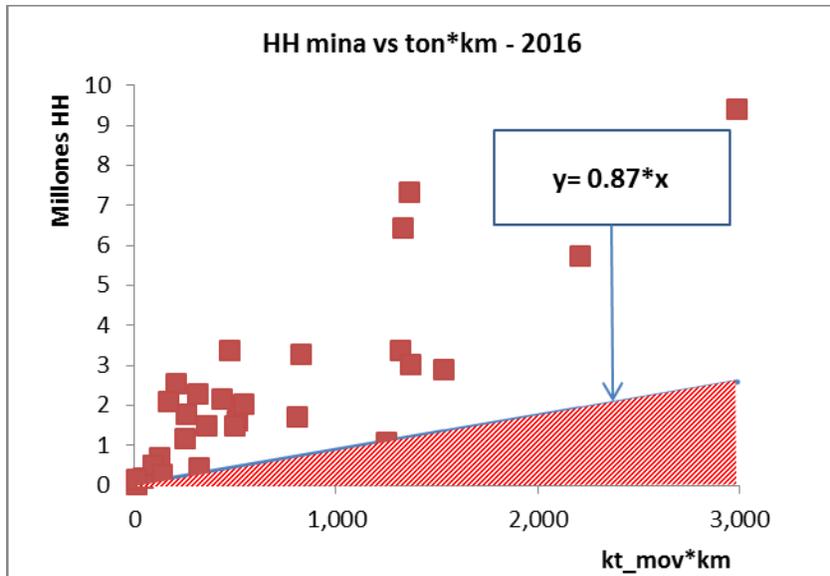


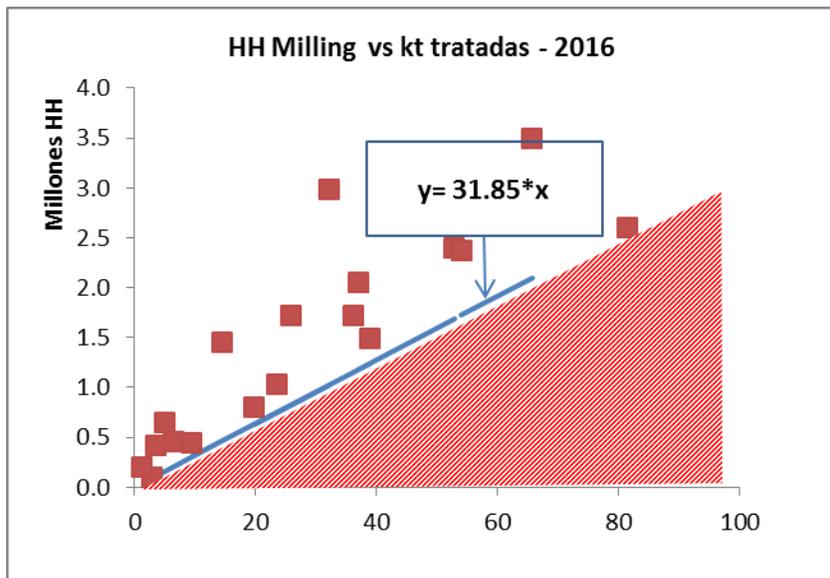
Fig 19 Zona gestionable y no gestionable para la cantidad de un recurso. (Elaboración propia).

Al analizar la cantidad de  $HH$  utilizada en cada proceso en función del volumen de trabajo, es posible corroborar que efectivamente existe una relación directa entre la mano de obra utilizada y el tamaño del proceso (ver Graf. 37). Los únicos procesos que no presentan esta relación son el proceso de Lixiviación y el G&A. El proceso de lixiviación es un proceso con un alto grado de automatización, por lo tanto, es esperable que no exista una relación clara entre el tamaño y la cantidad de personas utilizadas en él. Para el caso del G&A, la cantidad de personas estará asociada al tamaño de la operación, pero también a las exigencias que tenga que cumplir la organización con los distintos grupos de interés. Para estos dos procesos, se considerará que la cantidad es 100% gestionable al no existir un límite inferior que no sea cercano a cero.

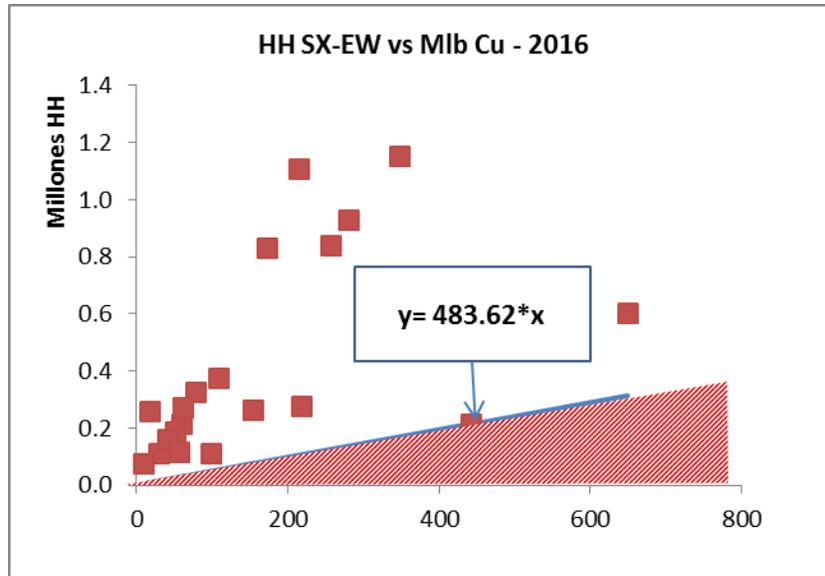
Para los otros 3 procesos restantes (mina, planta concentradora y planta SX-EW) es posible modelar un área no gestionable de la cantidad siguiendo los pasos de la Ecuación 10. Los siguientes gráficos muestran la zona no gestionable en forma achurada.



Graf. 29 Zona no gestionable Cantidad HH por tonelada movida por kilómetro 2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

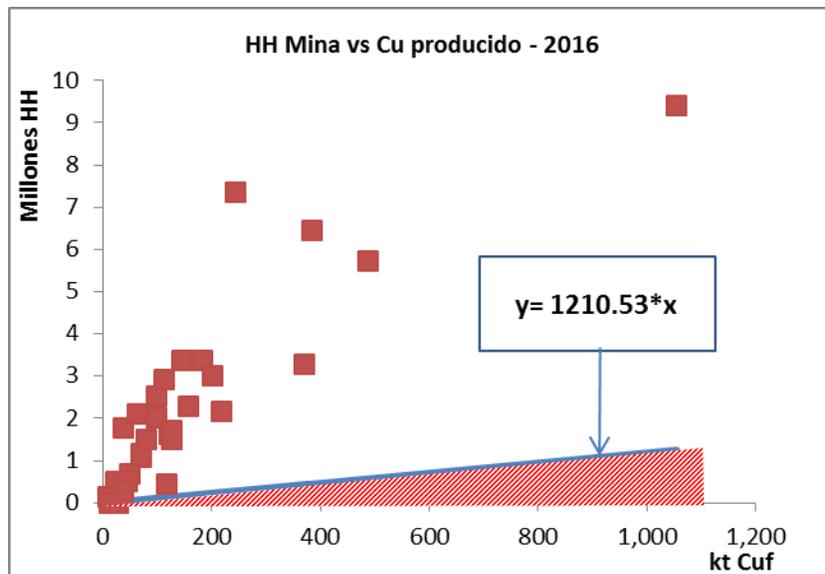


Graf. 30 Zona no gestionable Cantidad HH por tonelada procesada en planta concentradora. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

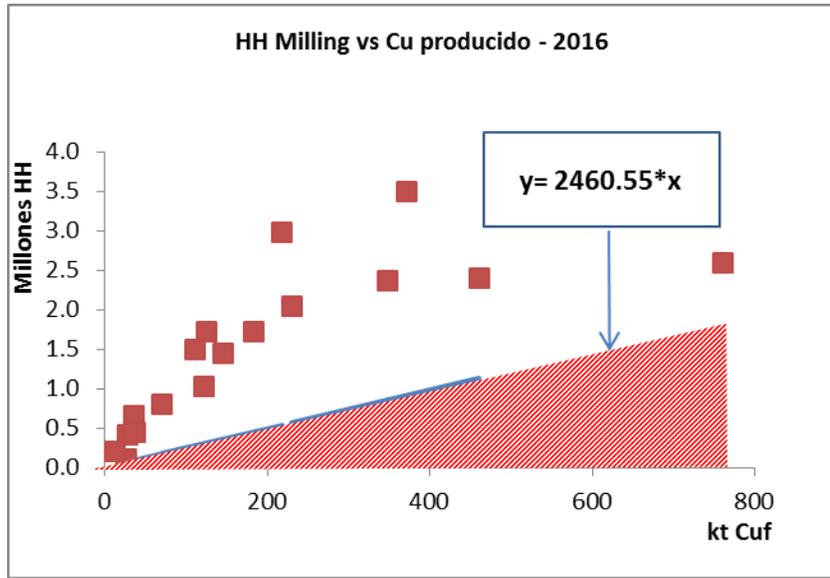


Graf. 31 Zona no gestionable Cantidad HH por libra procesada en planta SX-EW en planta concentradora. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**

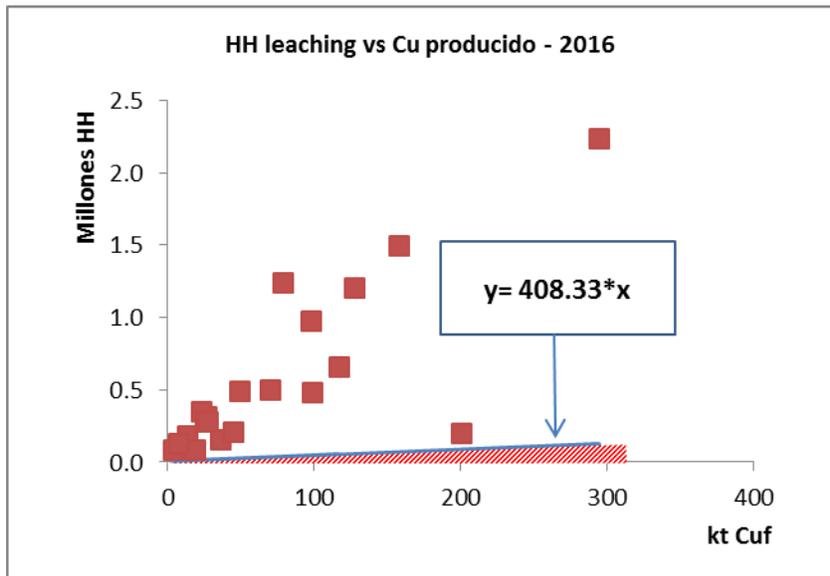
De la misma forma, es posible analizar la cantidad de HH utilizadas en función de las toneladas de cobre producidas, buscando alguna relación que permita segmentar la zona gestionable de la no gestionable. Los resultados expuestos en el Graf. 38 muestran que existe una fuerte relación entre las HH utilizadas y la cantidad de cobre que produce una operación para la mayoría de las operaciones a nivel nacional, pero existen algunos ejemplos que rompen totalmente la tendencia reduciendo la zona no gestionable. Siguiendo los pasos de la metodología para el modelamiento de la zona gestionable y no gestionable, es posible obtener los siguientes resultados.



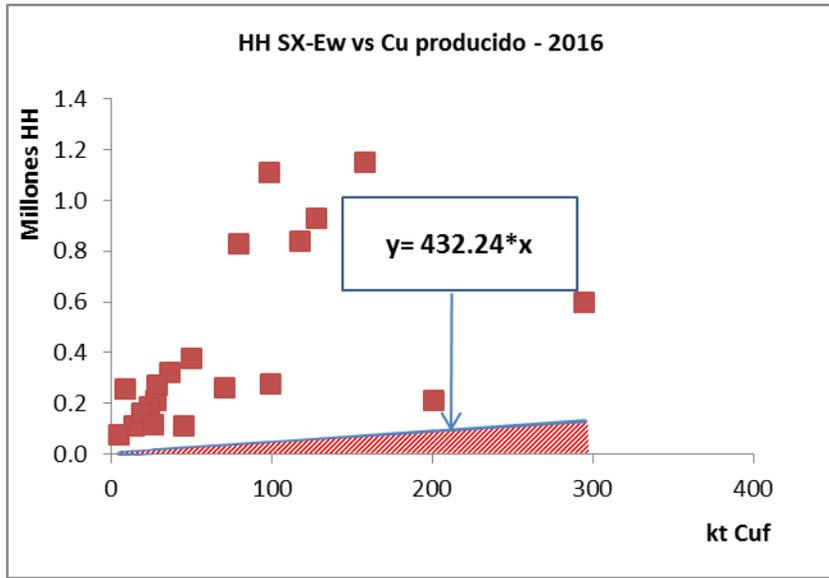
Graf. 32 Zona no gestionable Cantidad HH mina en función de la producción de Cu. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**



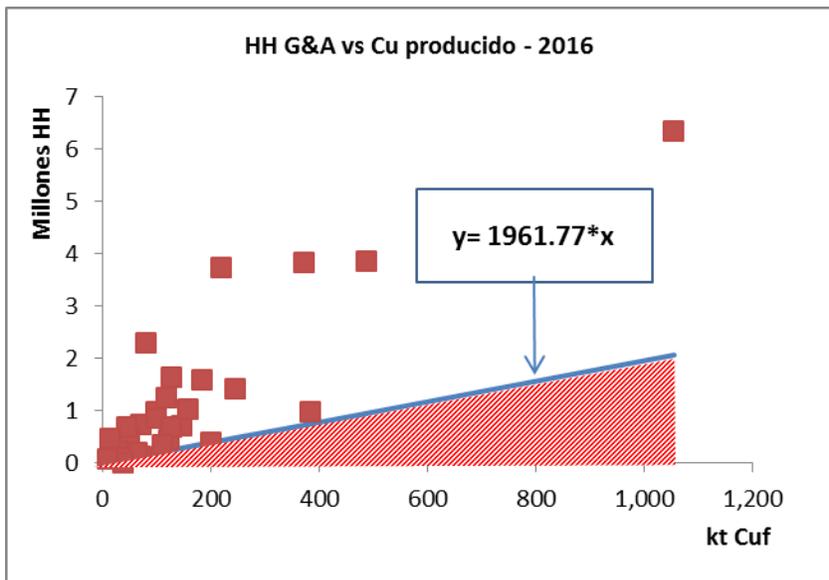
Graf. 33 Zona no gestionable Cantidad HH planta concentradora en función de la producción de Cu en concentrado. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 34 Zona no gestionable Cantidad HH planta de lixiviación en función de la producción de Cu en cátodos. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



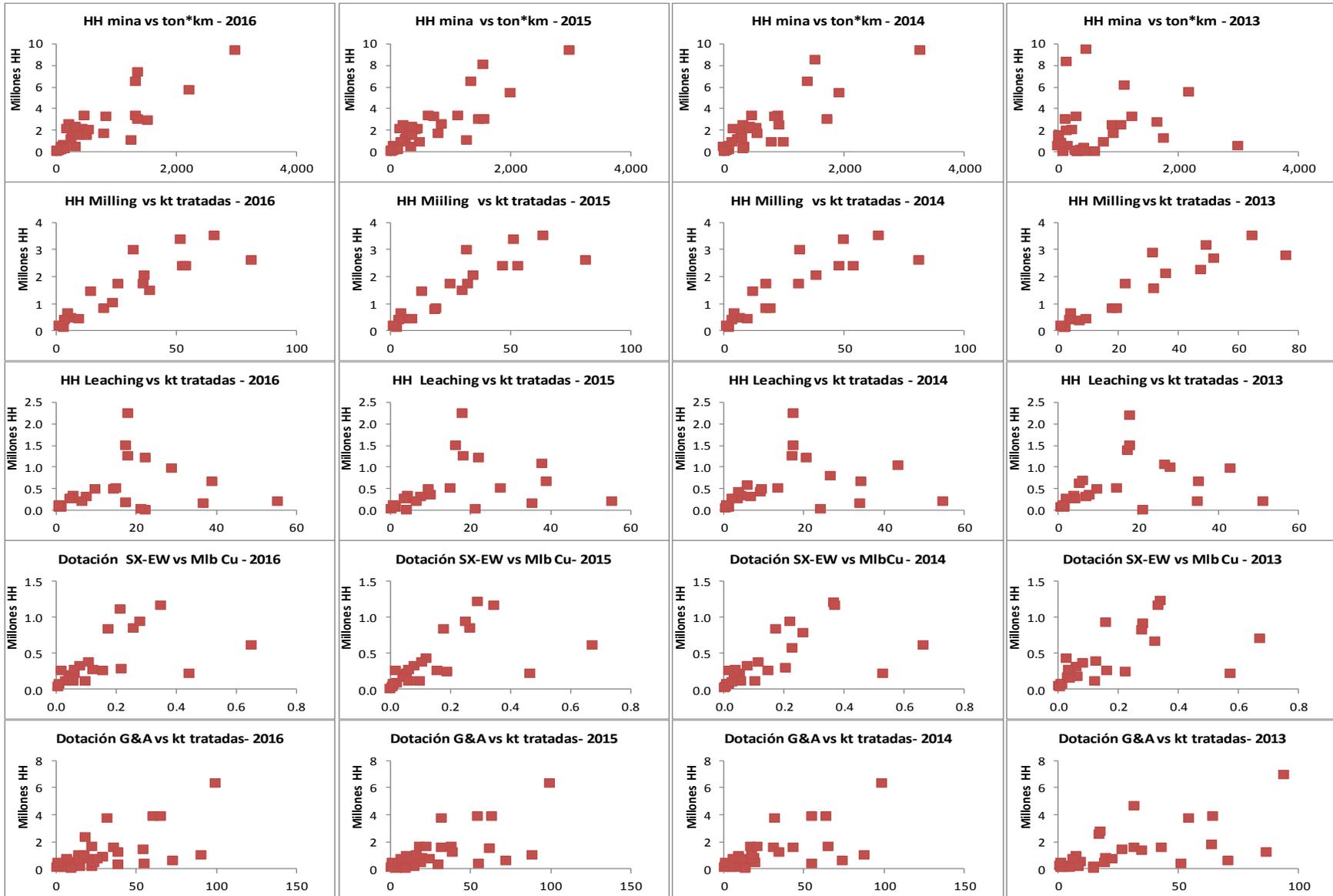
Graf. 35 Zona no gestionable Cantidad HH planta SX-EW en función de la producción de Cu en cátodos. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



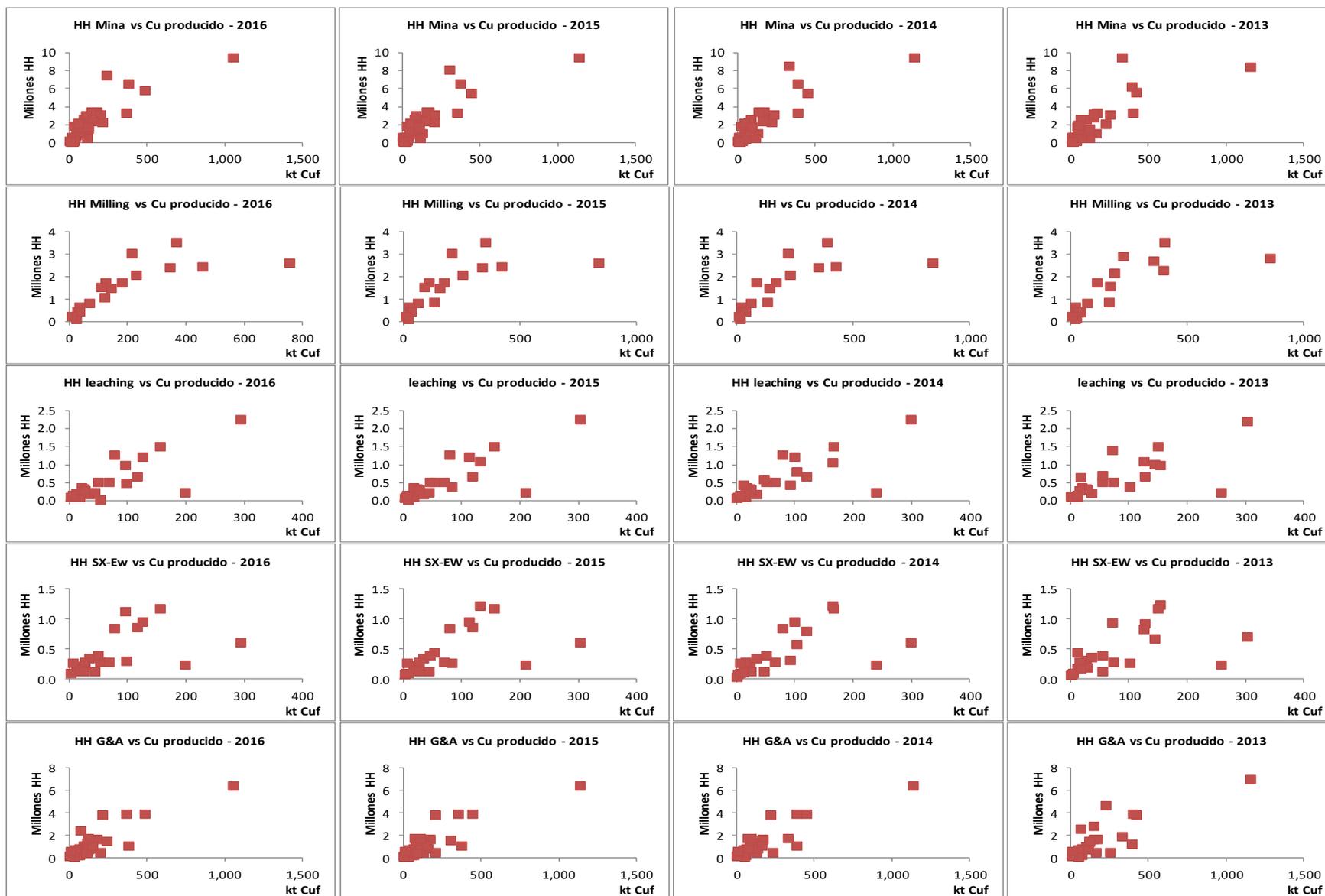
Graf. 36 Zona no gestionable Cantidad HH G&A en función de la producción de Cu en cátodos. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

Observando los resultados de Graf. 39 es posible notar que no existe ninguna relación entre la cantidad de mano de obra utilizada y la altura geográfica de la operación.

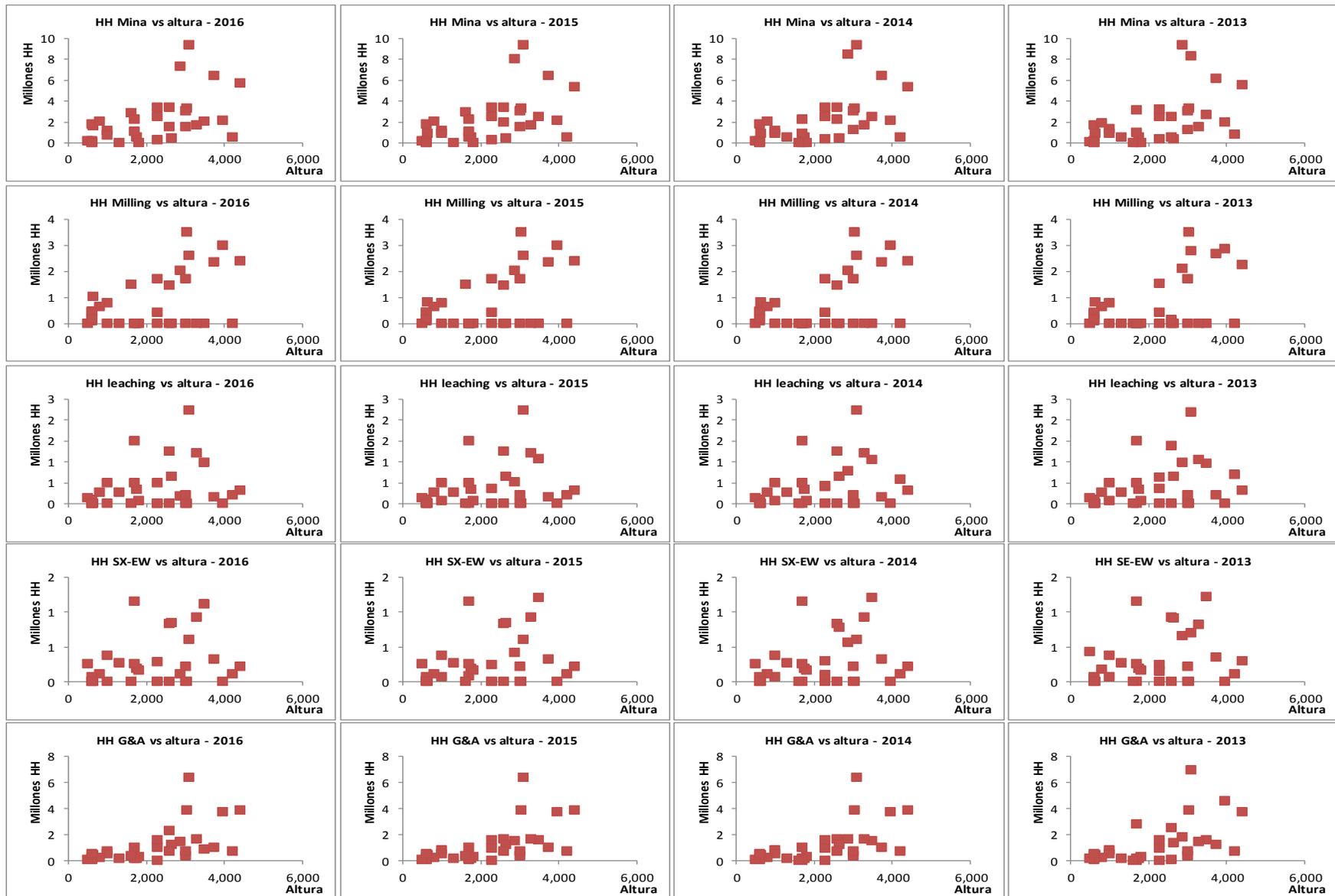
Por lo tanto, la cantidad de HH gestionable corresponderá a la menor cantidad gestionable resultante del impacto por tamaño del proceso y el volumen de producción.



Graf. 37 HH utilizadas vs tamaño de los procesos: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 38 HH vs cobre producido: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

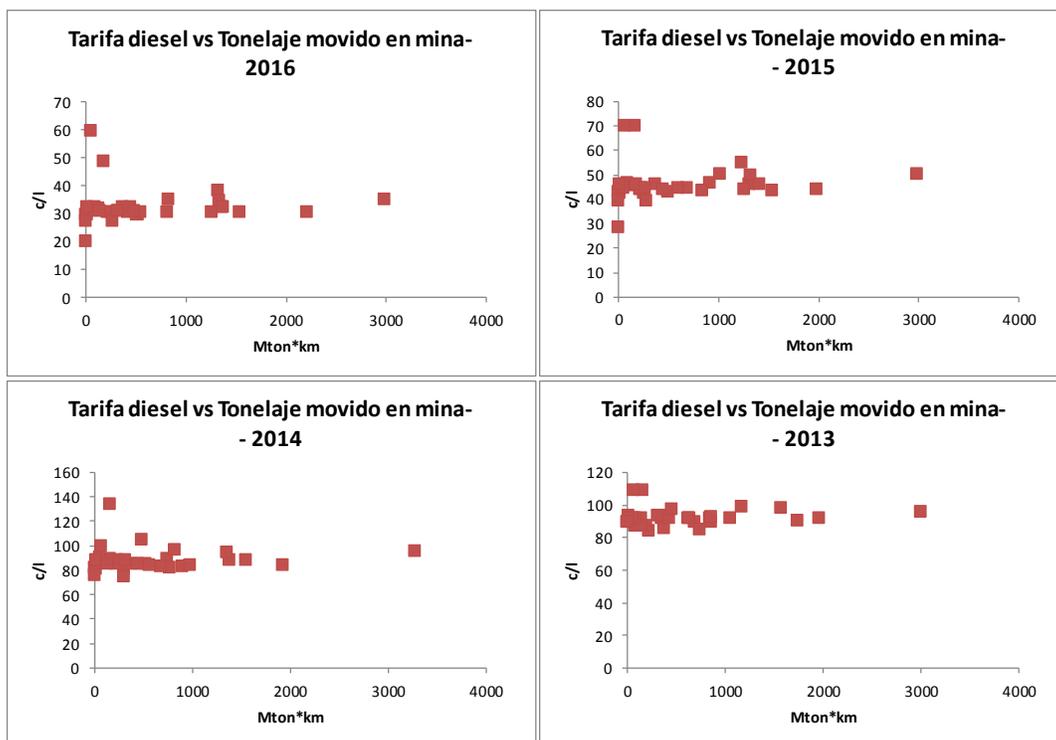


Graf. 39 HH vs altura geográfica: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

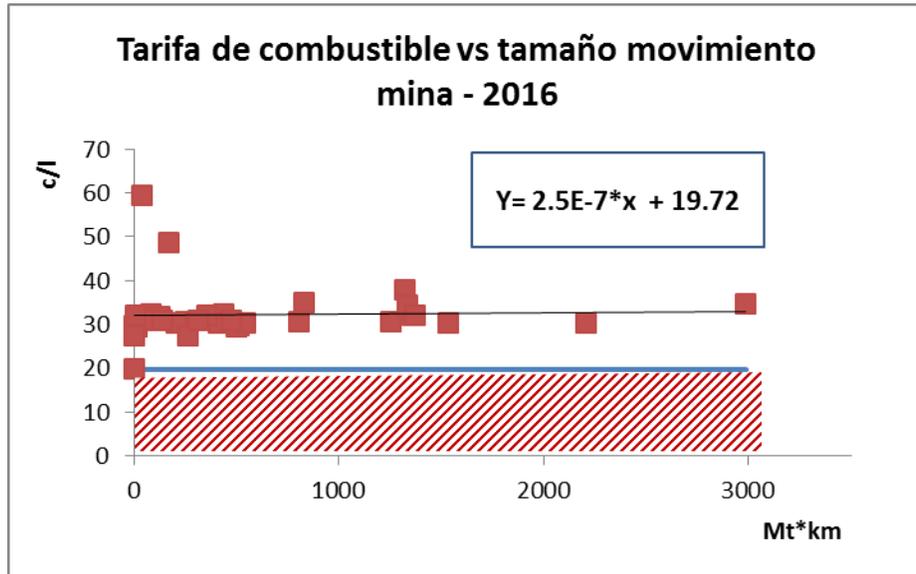
## Combustible

El combustible (Diésel) es un insumo muy importante en la explotación minera. Moviliza toda la flota de transporte mina, algunos equipos de carguío (palas hidráulicas y cargadores) y equipos auxiliares y de apoyo. Su tarifa se negocia, normalmente, por contratos de mediano o largo plazo, que permitan suavizar los efectos del mercado sobre el precio del crudo. Estos contratos, por lo general, incluye el combustible y la administración y logística de la disposición del mismo. La tarifa del contrato puede verse afectada por el tamaño de la explotación, principalmente vinculada a la cantidad de combustible a utilizar en la extracción mina. También, podría estar asociada al tamaño de la operación en cuanto a su producción de cobre, la distancia a centros urbanos y la altura geográfica donde se encuentra la actividad operativa. El análisis de la tarifa se realizará de la misma forma en que se analizó el costo de mano de obra, buscando tendencias que indiquen que la tarifa del combustible tiene alguna dependencia con el tamaño o ubicación de la operación.

En relación al tamaño de la explotación, es posible ver que no existe una relación que indique que a mayor volumen de consumo la tarifa baja. Las operaciones tienen una tarifa promedio que 32 c/l. Al realizar la regresión lineal, la pendiente es prácticamente nula, por lo tanto, la zona no gestionable se ubicará horizontalmente bajo la operación que presente la tarifa más baja. Este resultado es lógico, puesto que al existir un precedente de operaciones con tarifas más bajas al promedio, indica que existe el espacio para gestionar el contrato y obtener algún tipo de ahorro en él por precio.

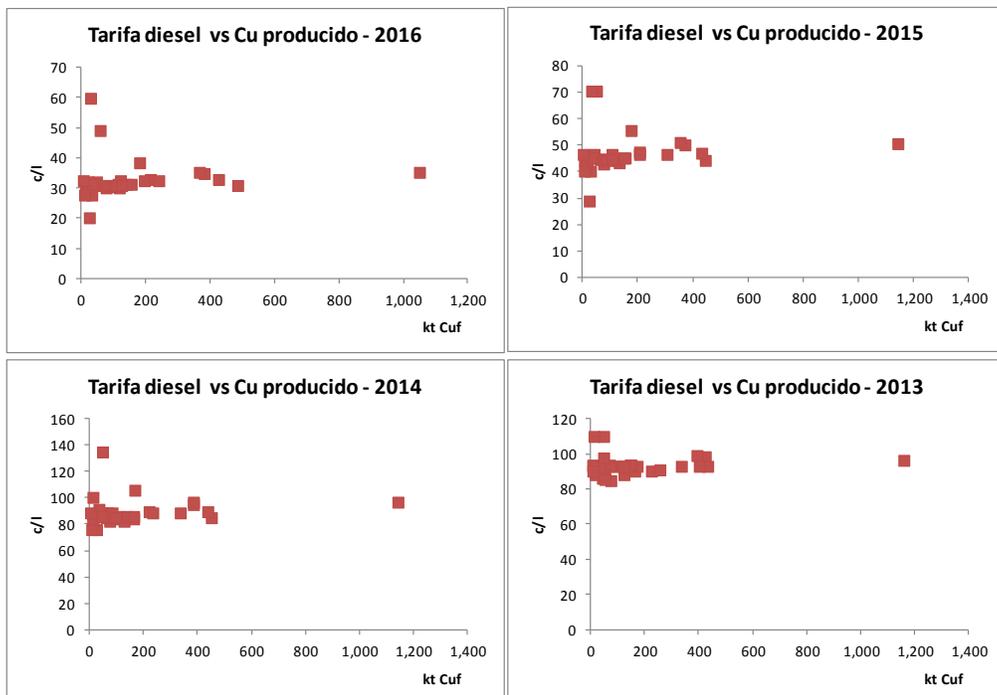


Graf. 40 Tarifa del combustible en función del tamaño del movimiento mina. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

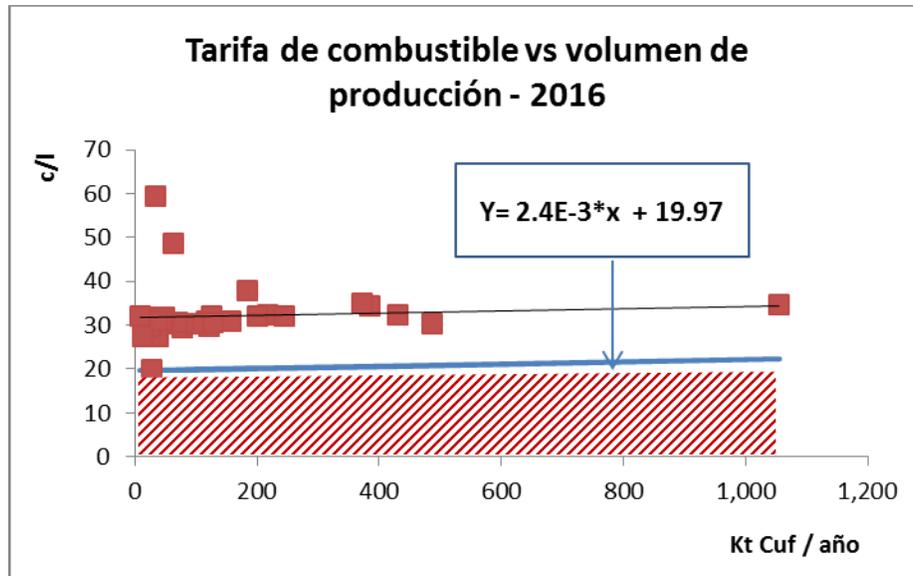


Graf. 41 Zona no gestionable de la tarifa del combustible en función del tamaño del movimiento mina. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

En cuanto al volumen de producción de cobre, tampoco se encuentra una relación vinculante, sólo una ligera tendencia al alza en función al aumento de la producción. Por lo tanto, la zona gestionable estará dada por la diferencia entre la tarifa contratada por la operación con aquella que tenga la menor tarifa de combustible.

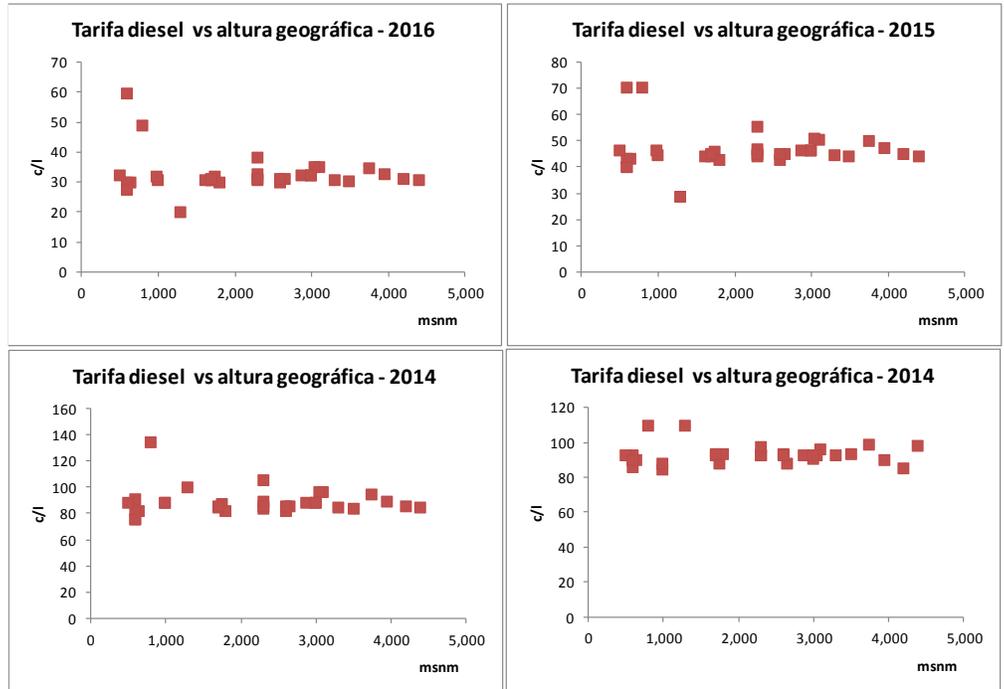


Graf. 42 Tarifa del combustible en función del volumen de producción. Elaboración propia.  
(Wood Mackenzie, 2016)

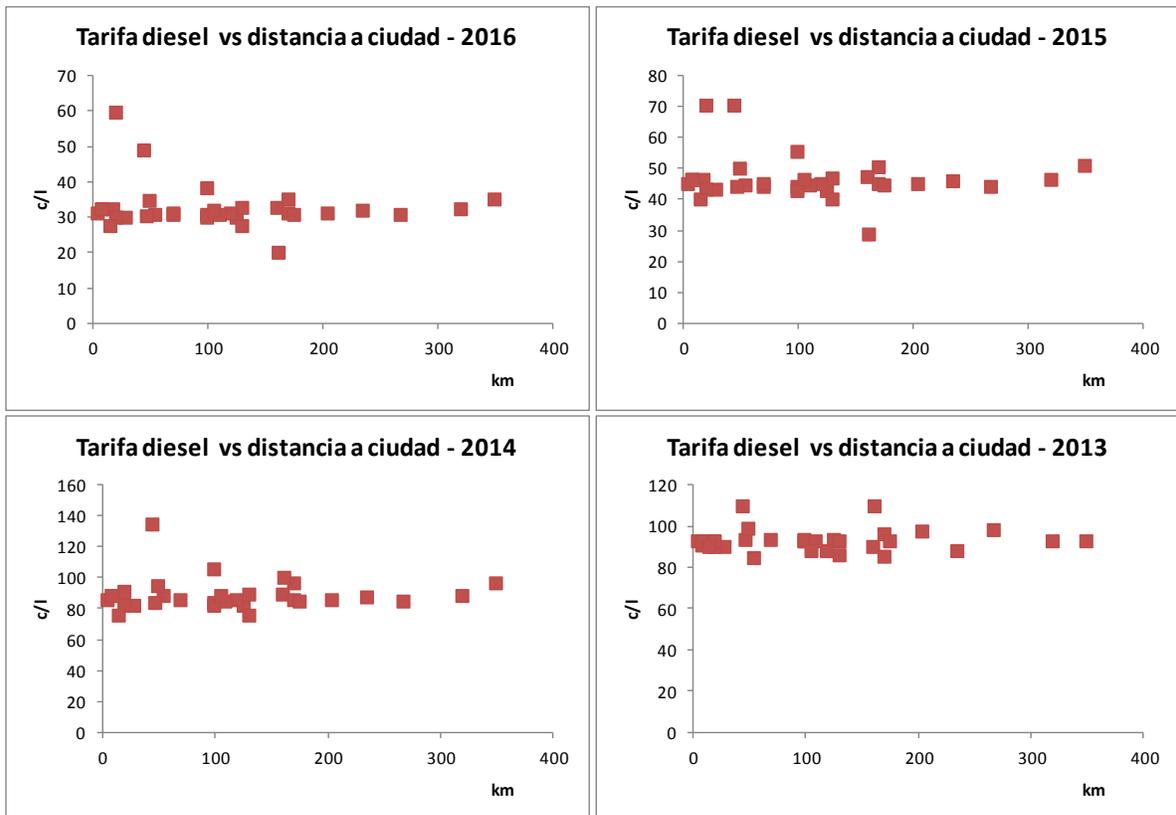


Graf. 43 Zona no gestionable de la tarifa del combustible en función del volumen de producción. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

En cuanto al análisis del precio de diésel versus la ubicación de la operación, tenemos que tanto para la altura y la distancia al centro urbano más cercano no impactan en el precio obtenido por las operaciones. Esto es apreciable en las gráficas Graf. 44 y Graf. 45, en donde el precio no tiene ningún tipo de relación significativa con las variables analizadas.

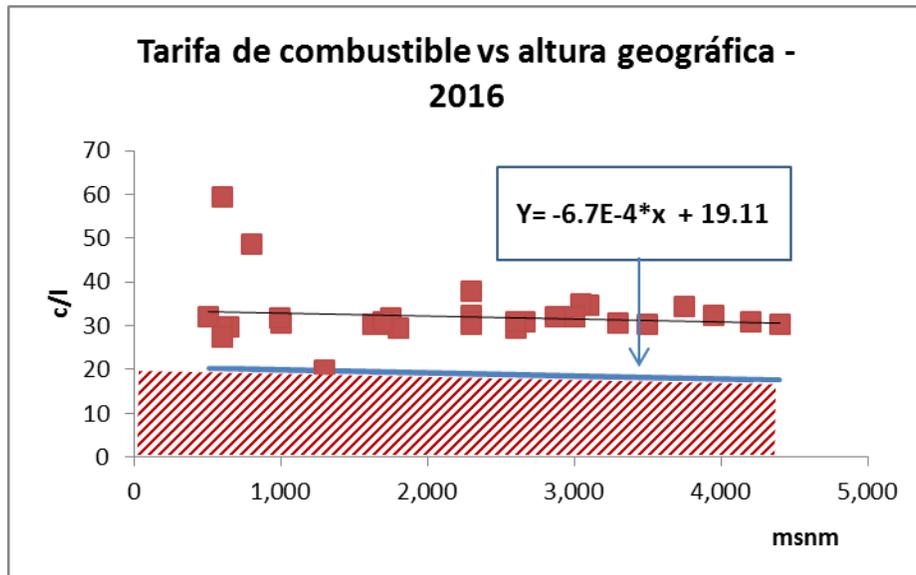


Graf. 44 Tarifa del combustible en función la altura geográfica de la operación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

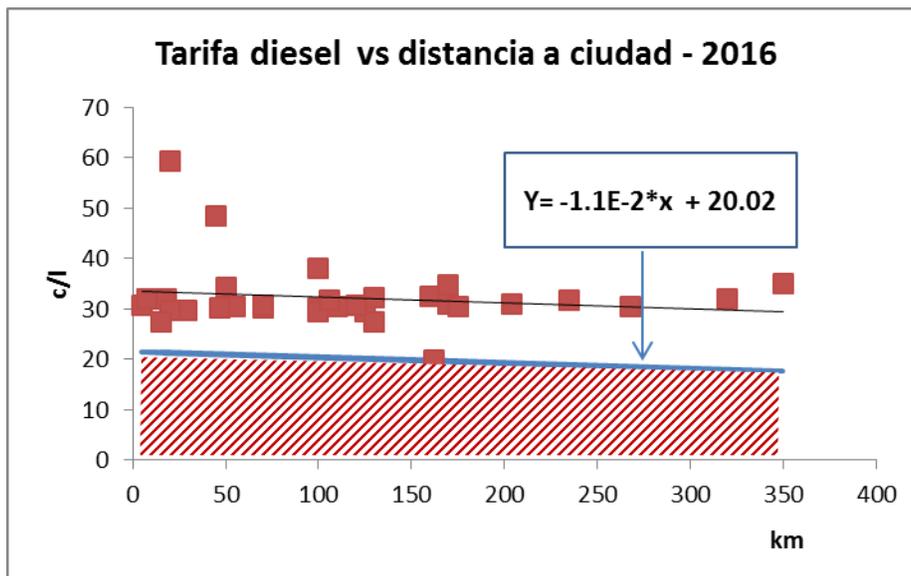


Graf. 45 Tarifa del combustible en función de la distancia a centro urbanos. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

La zona no gestionable se modelará de la misma forma se ha hecho con las otras variables, siendo una horizontal bajo el precio más bajo para el año 2016.



Graf. 46 Zona no gestionable de la tarifa del combustible en función de la altura geográfica de la operación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



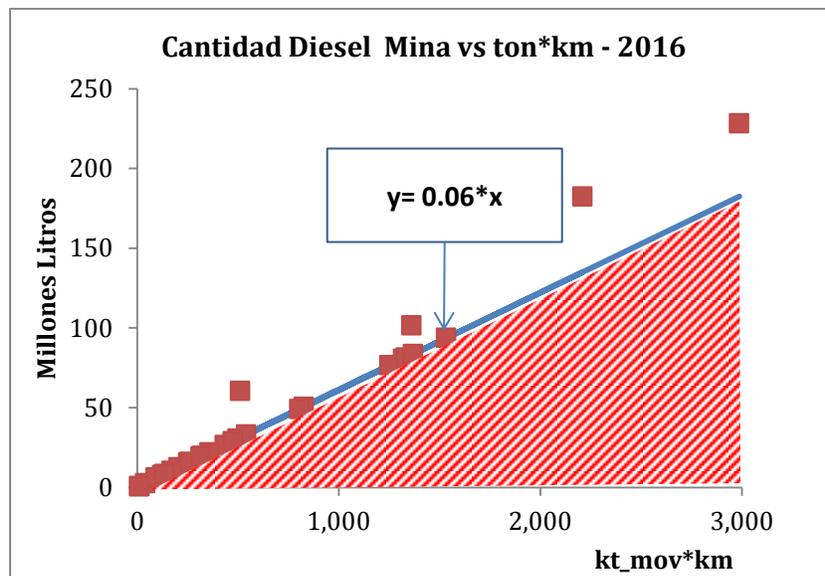
Graf. 47 Zona no gestionable de la tarifa del combustible en función de la distancia al centro urbano. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

Teniendo en cuenta el impacto de las variables sobre la tarifa del combustible, es posible determinar la fracción gestionable como la mínima fracción gestionable resultado de la evaluación de cada variable.

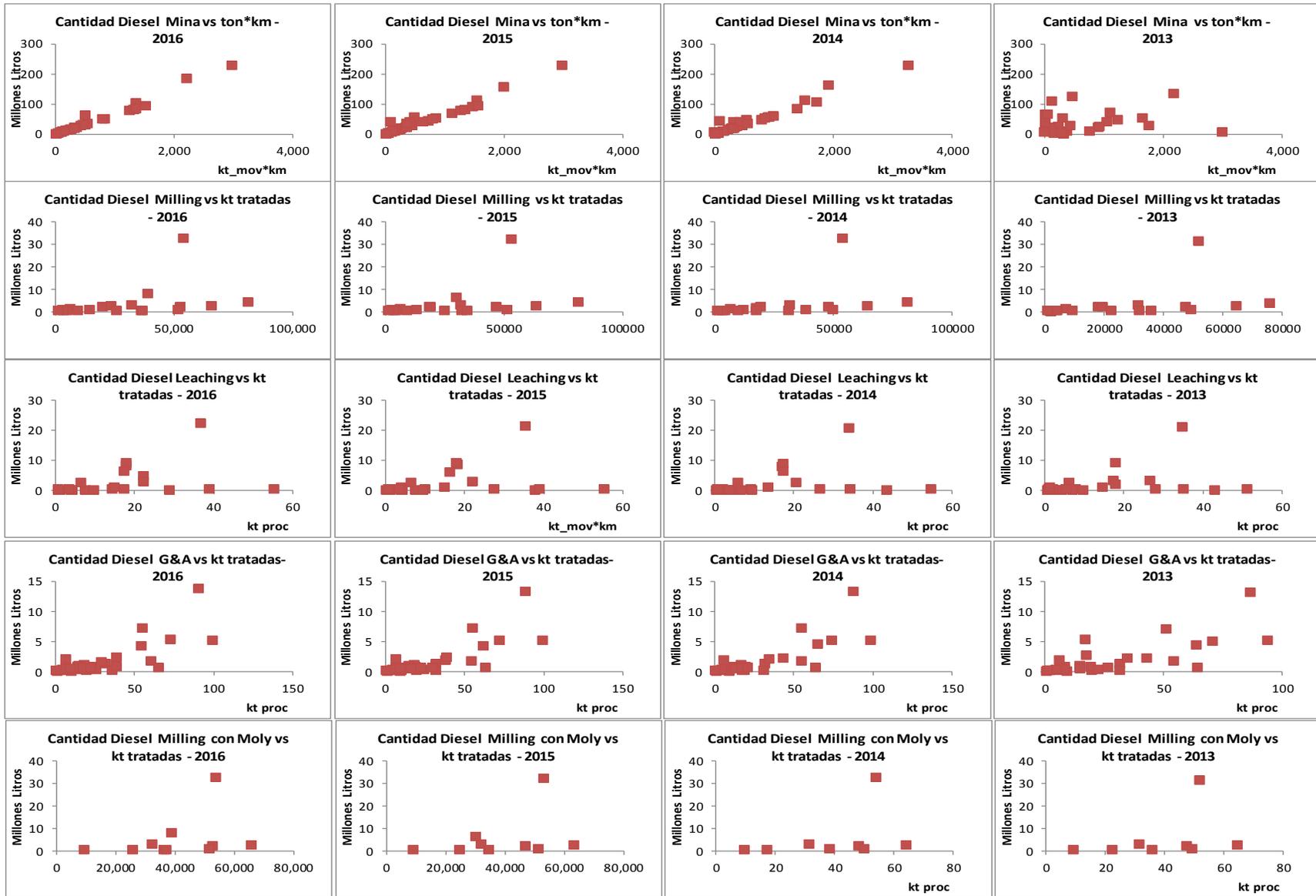
Al analizar la cantidad de combustible utilizado en el proceso productivo, es importante revisar si existe alguna relación entre la cantidad utilizada y el tamaño del proceso. Los

resultados mostrados en la gráfica Graf. 48, demuestran que sólo la mina tiene una directa relación entre el consumo de combustible y el tamaño del movimiento mina. Esto tiene lógica puesto que, primero, la distancia equivalente fue derivada a través del consumo de diésel de los equipos mina, y segundo, porque para la mina el combustible es un insumo principal y transversal a todas las operaciones. Para el caso de las plantas, el diésel, a parte de las actividades de apoyo, es utilizado como aditivo en las plantas de molibdeno y como combustible para calentar la solución del PLS, a pesar de esto no es posible ver una tendencia clara que permita modelar la zona no gestionable del uso del combustible, incluso graficando aquellas operaciones que tienen procesamiento de molibdeno como parte de su operación.

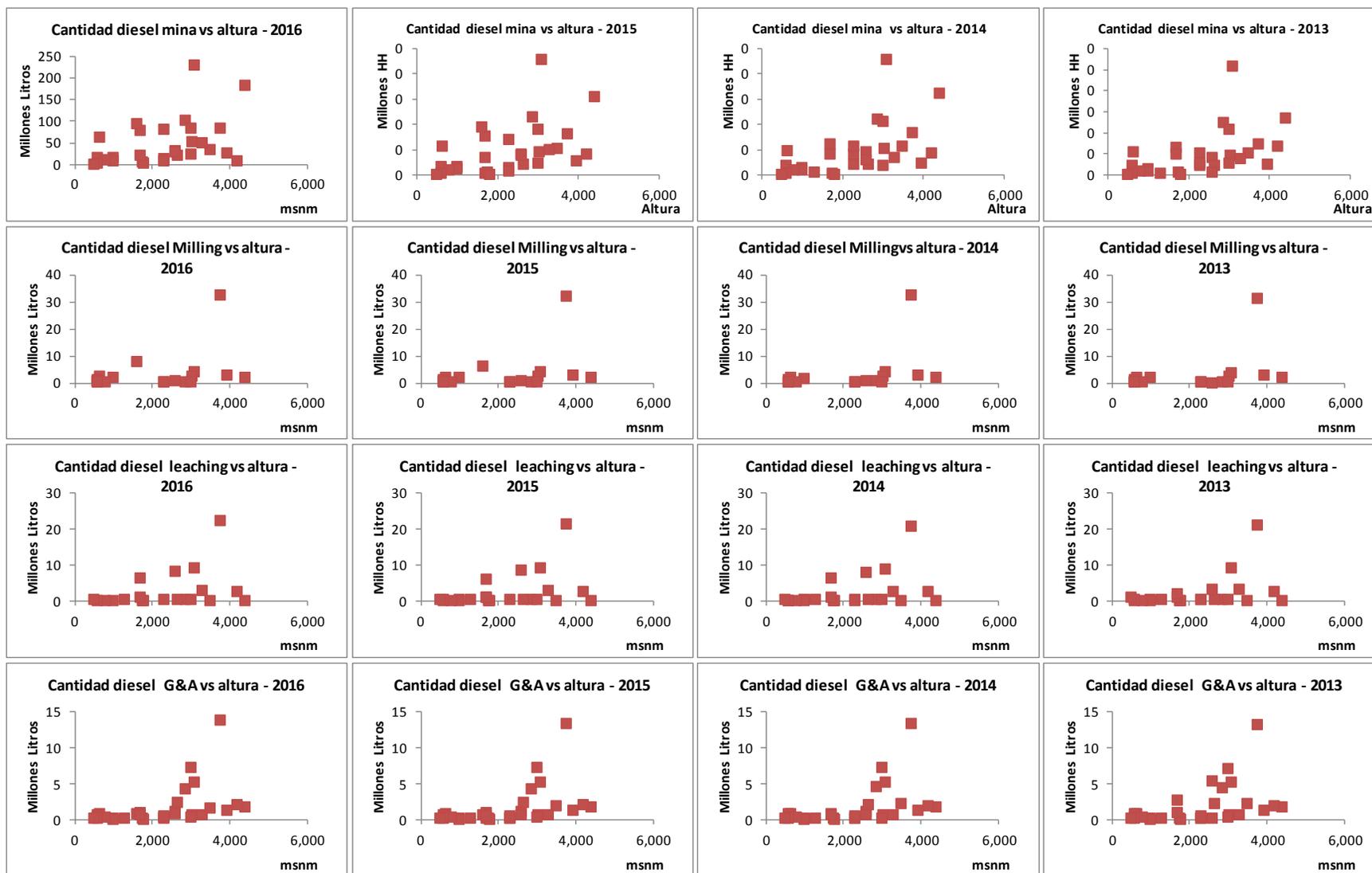
La altura donde se ubica la operación tampoco tiene ningún impacto en la cantidad utilizada de combustible, por lo tanto, se descarta modelar su fracción no gestionable.



Graf. 48 Zona no gestionable de la cantidad del combustible en función del tamaño de la explotación mina. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 49 Cantidad del combustible en función del tamaño del proceso. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

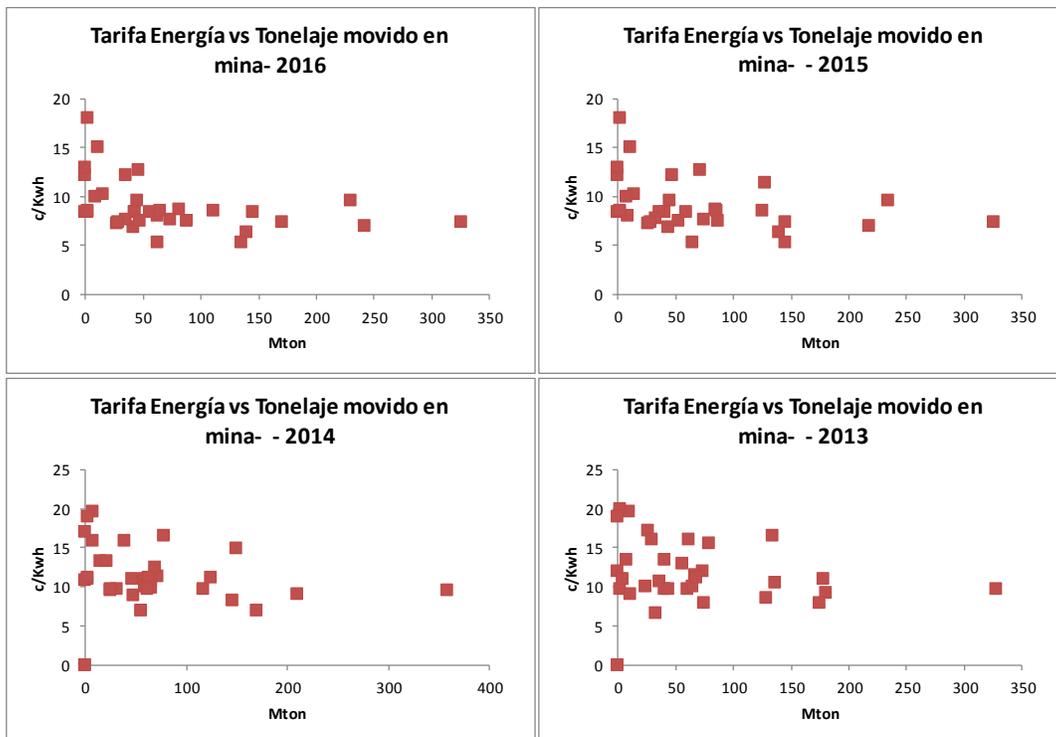


Graf. 50 Cantidad del combustible en función de la altura de la operación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

## Energía eléctrica.

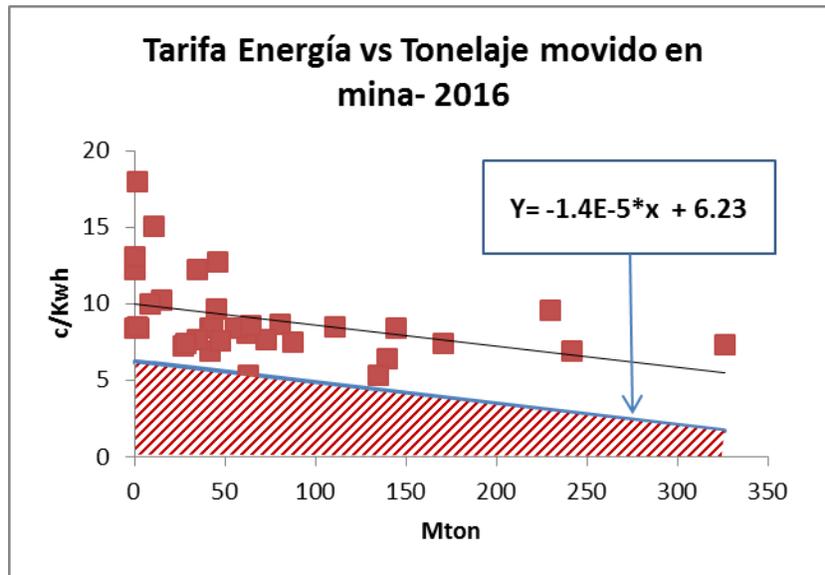
La energía eléctrica es un insumo principal en la minería, se utiliza en todos los procesos de explotación, ya sea de forma directa sobre los procesos o en forma de soporte o apoyo. En la mina, moviliza y energiza los equipos eléctricos de perforación y carguío; en la plantas de tratamiento, permite energizar toda la línea de chancado y molienda (grandes consumidores de energía); y en la planta de electro obtención, permite la captura del cobre en forma de cátodos. Dados los altos consumos del recurso, por lo general, su tarifa se negocia con contratos de mediano y largo plazo para así evitar las variaciones del precio spot, que depende de la cantidad de energía disponible en el sistema y el costo de producirla. Las operaciones mineras del norte tienen disponible el Sistema Interconectado del Norte Grande (SIGN) y las operaciones de Copiapó al Sur el Sistema Interconectado Central. Ambos sistemas tienen tarifas diferentes, relacionada con la matriz de generación asociada a cada uno. Por lo tanto, es posible pensar que la tarifa de la energía eléctrica está asociada al volumen de su consumo y a la ubicación de la operación (Conectado al SIGN o al SIC). Se usarán estas dos variables para encontrar alguna relación que haga más restrictiva la fracción gestionable de la tarifa eléctrica.

Al analizar la tarifa en función del tonelaje movido en mina, es posible identificar una leve tendencia a la baja a medida que aumenta la cantidad de movimiento. Por lo general, las faenas de gran movimiento tienen más equipos eléctricos de carguío, debido a su mayor capacidad.



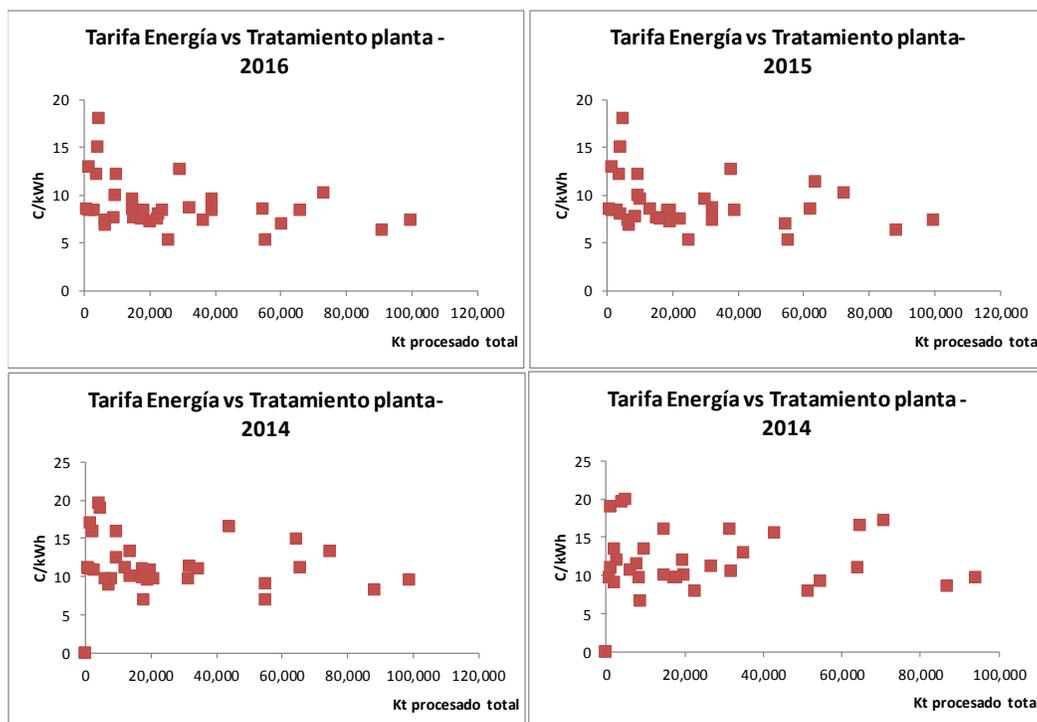
Graf. 51 Tarifa de energía eléctrica en función del movimiento mina. Elaboración propia.  
(Wood Mackenzie, 2016)

Tomando los datos del 2016 (proyectados), es posible modelar una zona no gestionable siguiendo la metodología expuesta anteriormente.



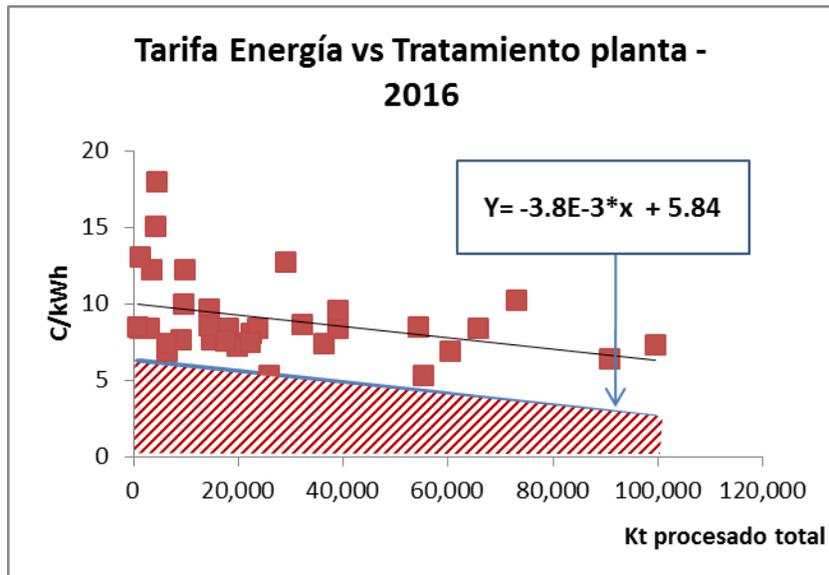
Graf. 52 Zona no gestionable tarifa de la energía en función del movimiento mina. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

Al realizar el análisis, pero considerando la capacidad total de tratamiento planta, resulta que también existe una tendencia a la baja de la tarifa a medida que aumenta su consumo.



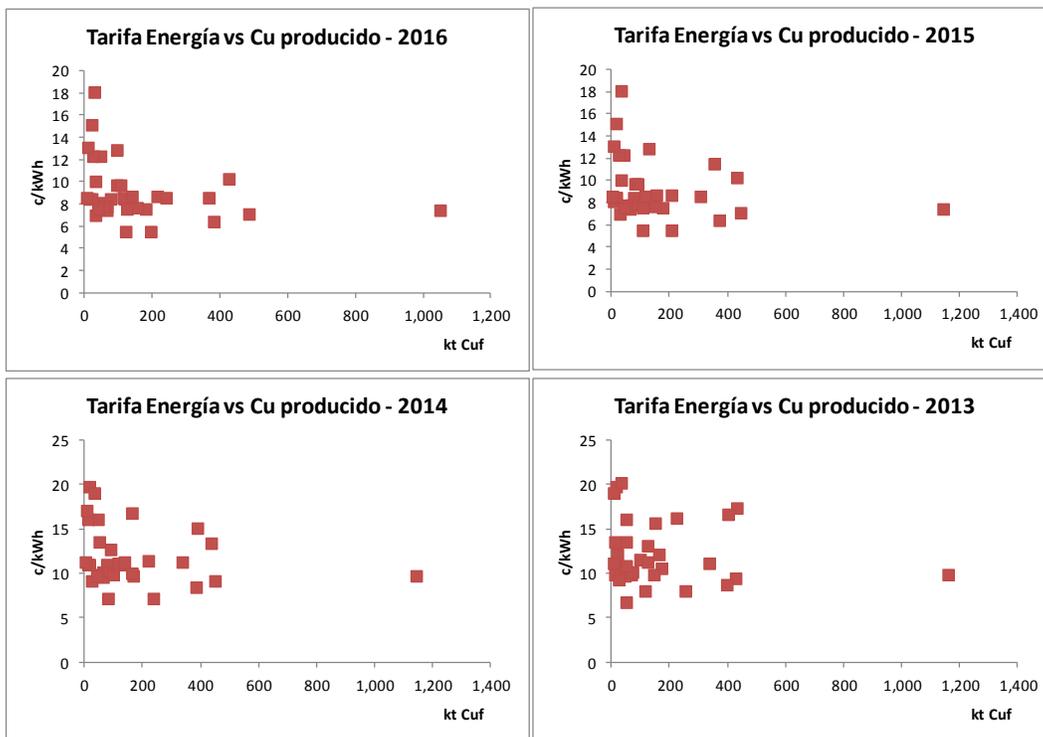
Graf. 53 Tarifa de energía eléctrica en función del tratamiento planta. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

Considerando el año 2016 proyectado, la zona no gestionable de la tarifa asociado al tratamiento de las planta tendría la siguiente forma.

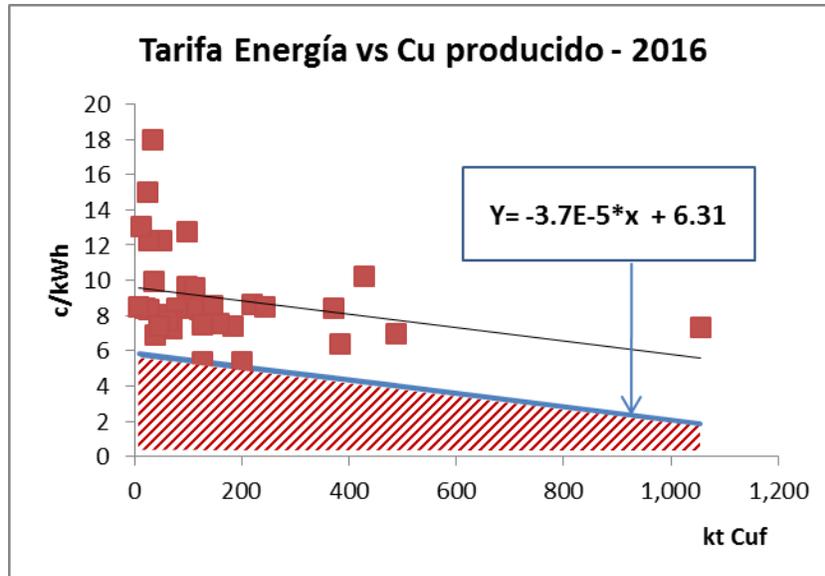


Graf. 54 Zona no gestionable tarifa de la energía en función tratamiento planta. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

Si se considera el nivel de producción de la operación, también se da una tendencia a la baja para aquellas operaciones de mayor producción.



Graf. 55 Tarifa de energía eléctrica en función de la producción de cobre. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 56 Zona no gestionable tarifa de la energía en función de la producción de cobre.  
Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

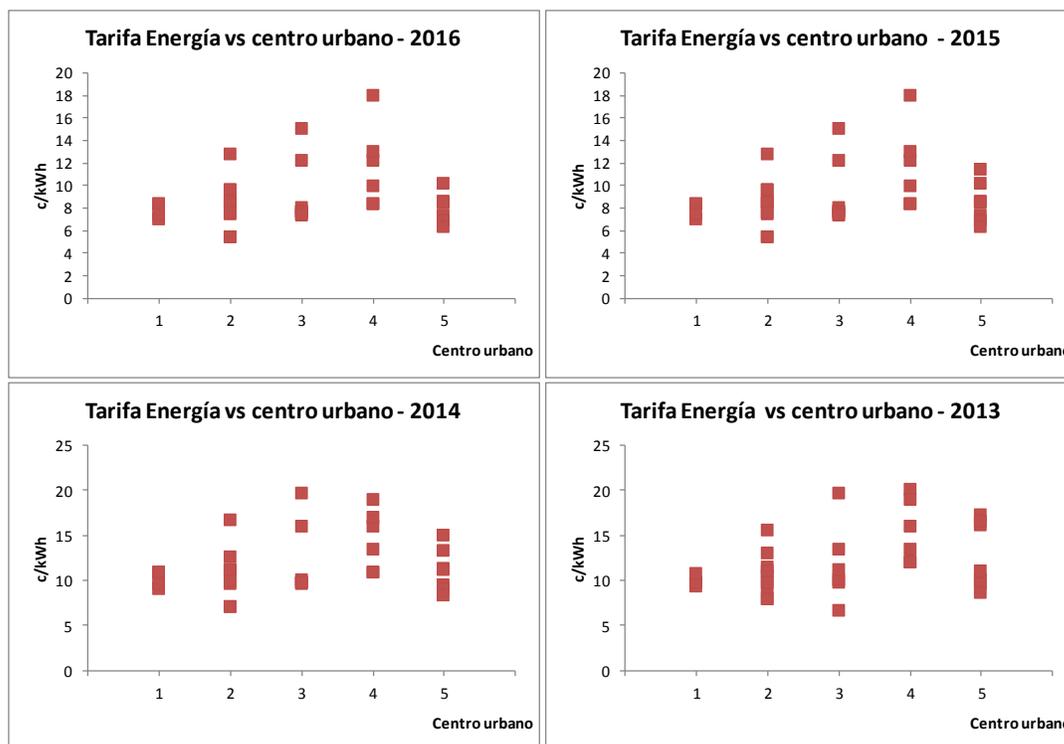
Para el análisis de la tarifa en función de la ubicación geográfica de la operación, se agruparán las 34 operaciones en función a la cercanía de un centro urbano. Lo anterior, porque las condiciones de conectividad y accesos a los troncales eléctricos no es homogéneo a lo largo del país, y por ende, operaciones cercanas deberían tener condiciones similares de conectividad. La siguiente tabla muestra las zonas en las que serán agrupadas las operaciones.

Zona	Centro urbano
1	Iquique
2	Calama
3	Antofagasta
4	Copiapó
5	Santiago

Tabla 7: Zonas de agrupación de operaciones mineras por cercanía a centro urbano.

Al realizar la agrupación y comparar la tarifa de energía, es posible ver que en la zona 1 y 5 las compañías tienen tarifas similares o con menor dispersión que la presentada por las zona 2, 3 y 4. Es la zona de Copiapó la que presenta las mayores tarifas promedio del país con 12 c/kWh, siendo que para el resto es de 8 c/kWh en promedio. También Copiapó presenta la mayor variabilidad de las tarifas, con un rango que oscila entre 8 c/kWh y los 18 c/kWh.

Para no limitar la capacidad de negociación de la tarifa y ante la poca diferencia entre la tarifa mínima por zona es que no se fraccionará la tarifa en gestionable y no gestionable por ubicación geográfica.

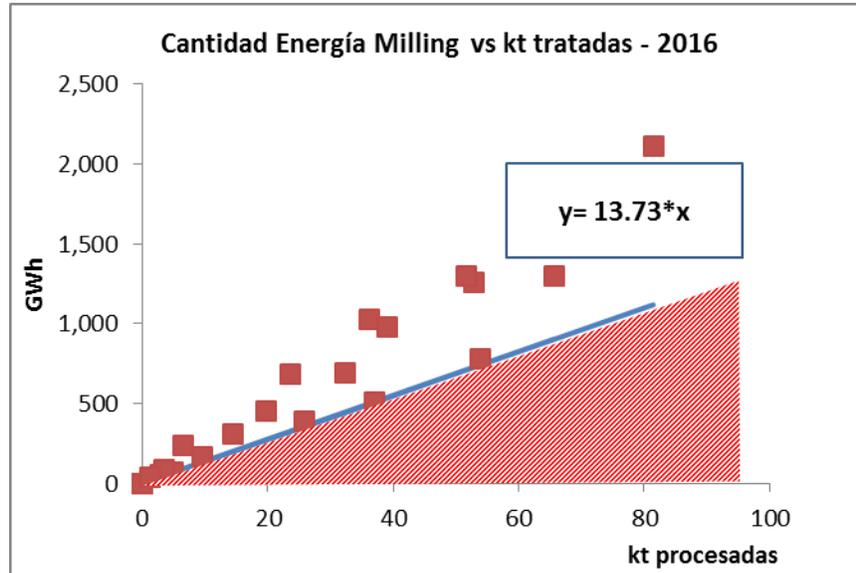


Graf. 57 Tarifa de energía eléctrica en función de la ubicación geográfica. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

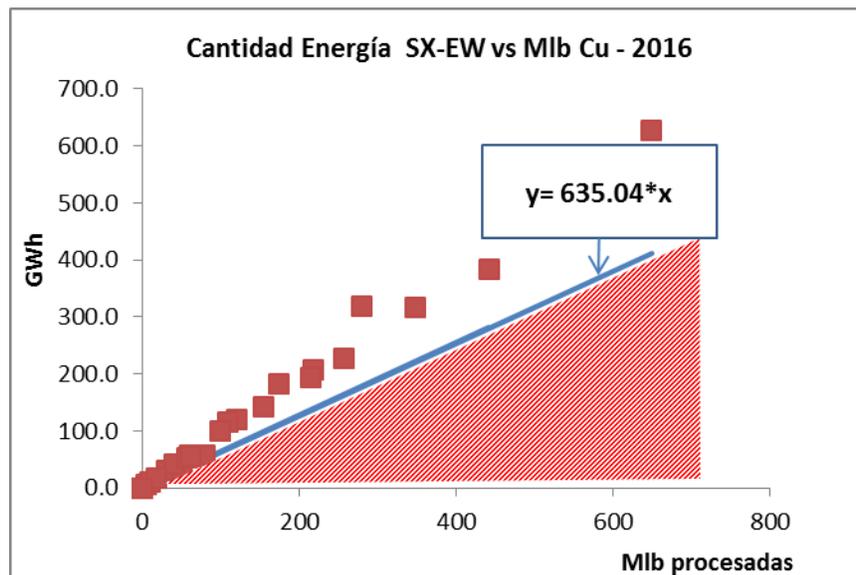
La tarifa no gestionable corresponderá a la mayor tarifa no gestionable encontrada en función del movimiento mina, la capacidad de tratamiento planta y la producción de cobre.

La cantidad de energía asociada es directamente proporcional al tamaño de los procesos: planta concentradora y planta de extracción por solvente. En la mina, existe la tendencia al alza, sobre todo en operaciones de que mueven más de 100 millones de toneladas al año, siendo estas operaciones las que ocupan equipos eléctricos de carguío por tener una mayor capacidad, para rangos menores de movimiento la tendencia no es clara, puesto que el insumo principal para movilizar y energizar los equipos de carguío es el diésel y no la energía eléctrica. Para el caso de la lixiviación se pierde la proporcionalidad en función de las toneladas tratadas, aunque se mantiene la tendencia al alza para procesos más grandes. Por último, en el caso de G&A, no existe una correlación clara respecto al consumo de energía y el tamaño de la operación medido por sus capacidad total planta, esto puede deberse a que el consumo de esta área puede estar afectado por el tamaño de instalación administrativa, la cual puede contar o no con campamentos u otras instalaciones para el confort de sus trabajadores. Por otra parte, existe una relación directa entre la dureza del mineral tratado en planta y la energía necesaria para lograr conminución, pero no existe data pública disponible que permita realizar este análisis y modelar el consumo de energía basado en el tipo de mineral a tratar.

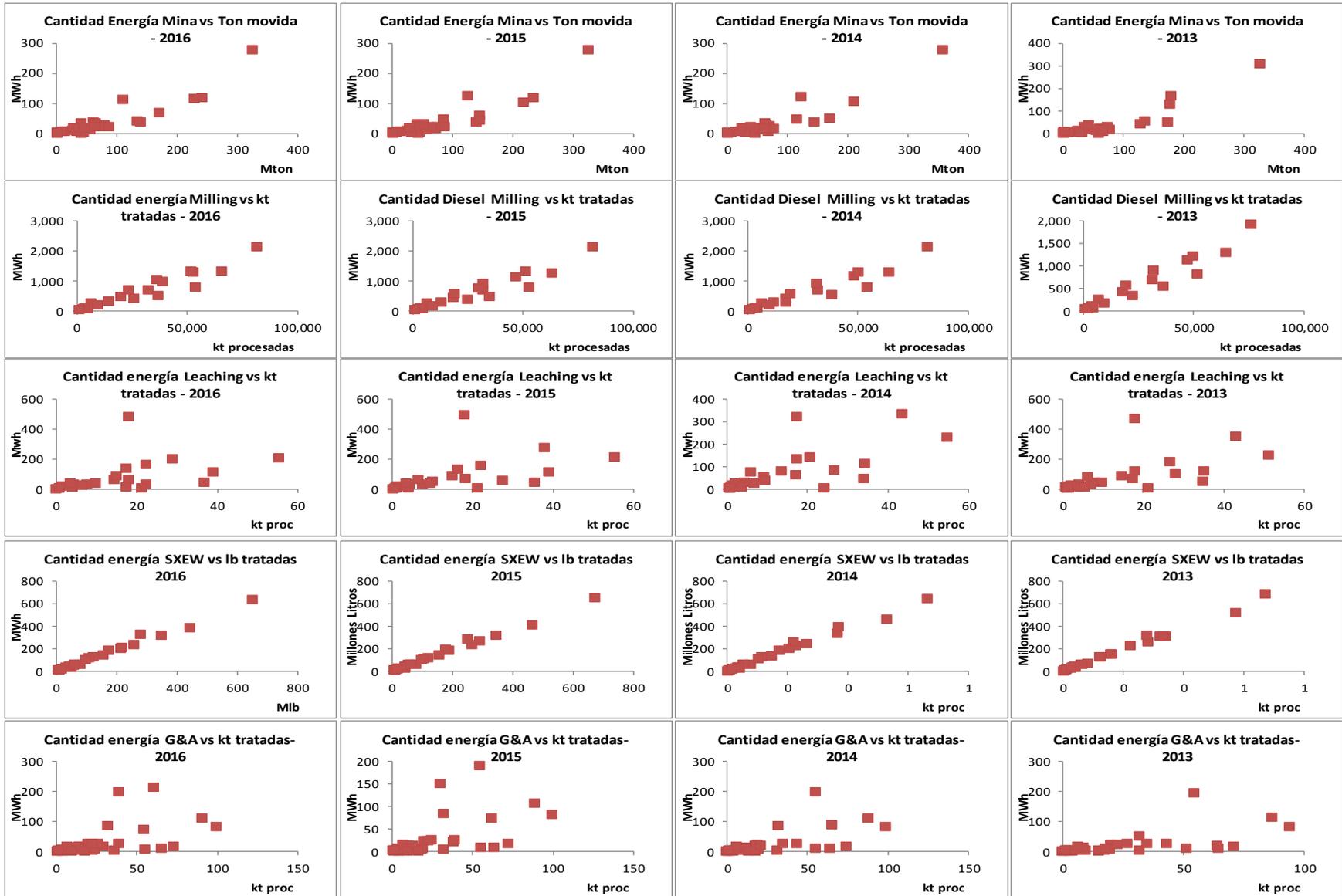
Se modelarán las fracciones no gestionables para la cantidad de energía a utilizar en cada uno de los procesos de molienda y extracción por solvente (SX-EW), usando la misma metodología para las cantidades expuesta anteriormente, utilizando los datos del año 2016 proyectados.



Graf. 58 Zona no gestionable cantidad de la energía utilizada planta concentradora en función toneladas procesadas. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**



Graf. 59 Zona no gestionable cantidad de la energía utilizada planta concentradora en función toneladas procesadas. Elaboración propia. **(Wood Mackenzie, 2016)**



Graf. 60 Consumo de energía en función del tamaño del proceso de explotación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

## Ácido.

El ácido es un insumo muy importante para las operaciones que utilizan a la lixiviación como proceso de tratamiento para sus minerales oxidados. La tasa de consumo depende de la caracterización del mineral, principalmente de la cantidad de cobre soluble en ácido que se deposite en las pilas de lixiviación. Como fue comentado anteriormente, existen varias formas de lixiviar los minerales, la más común hoy en día es mediante el uso de pilas dinámicas o pilas estacionarias. Para los minerales de baja ley se utilizan las pilas ROM, cuyo material depositado viene directamente de la mina, sin pasar por chancado. Por último, también es posible volver a lixiviar el mineral retirado de las pilas dinámicas, cuando el cobre residual en los rípios representa un aporte al valor económico de la operación. Por otro lado, el ácido también se utiliza para mantener el volumen y acides del flujo PLS e ILS de la planta SX-EW.

La logística del ácido es compleja, desde la búsqueda de un vendedor, la selección del punto de entrega, el transporte a la operación y el almacenamiento del producto para su uso final. La tarifa dependerá de si es comprado en el mercado spot o mediante un contrato de mediano o largo plazo. El precio del ácido dependerá del déficit nacional entre lo producido y ocupado, que obligue a buscar el insumo mediante importación. Dado los altos precios alcanzados el 2008 (promedio 250 US\$/ton), algunas operaciones cerraron contratos con proveedores locales de muy largo plazo, con el fin de asegurar una tarifa plana de este insumo crítico, pero a partir de ese año el precio ha caído llegando el 2015 a un promedio de 72 US\$/ton. Es por ello, que el costo del ácido es muy variable y no existe ninguna relación con el tamaño de la operación o su cercanía a los puntos de fabricación o puertos de desembarque, que permita modelar una zona no gestionable de la tarifa, sino más bien tomar la tarifa más baja del mercado actual y utilizarla como referente como potencial de ahorro por medio de gestión del contrato de abastecimiento.

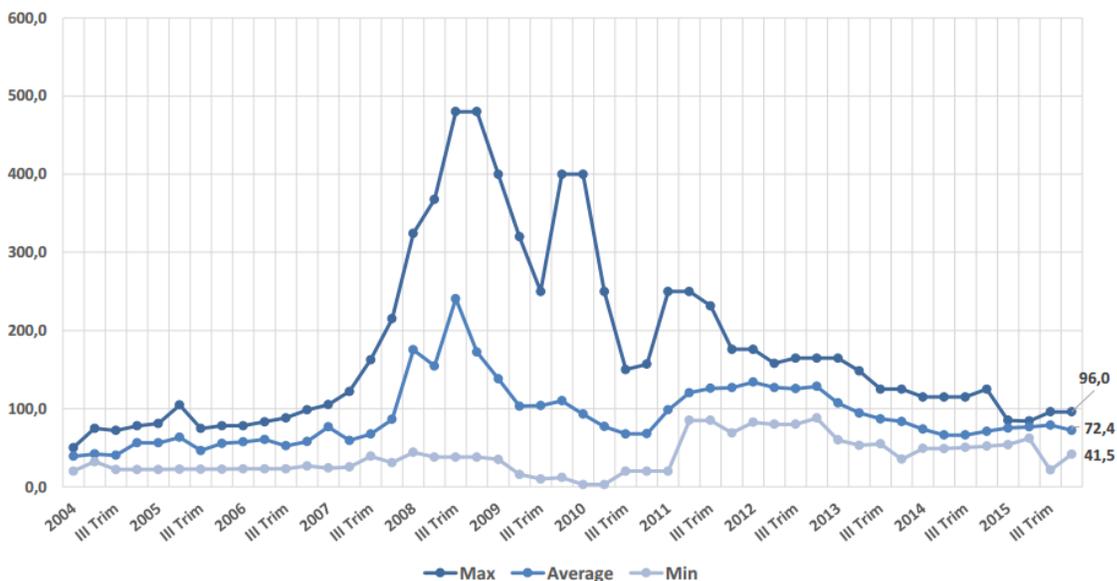
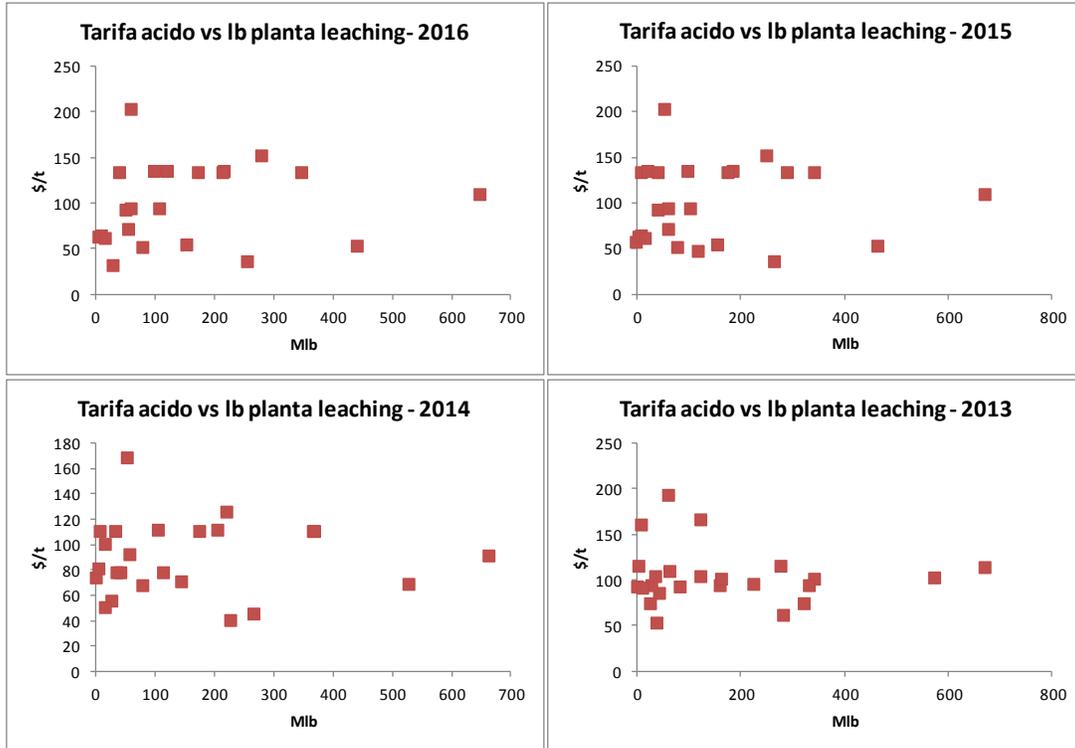
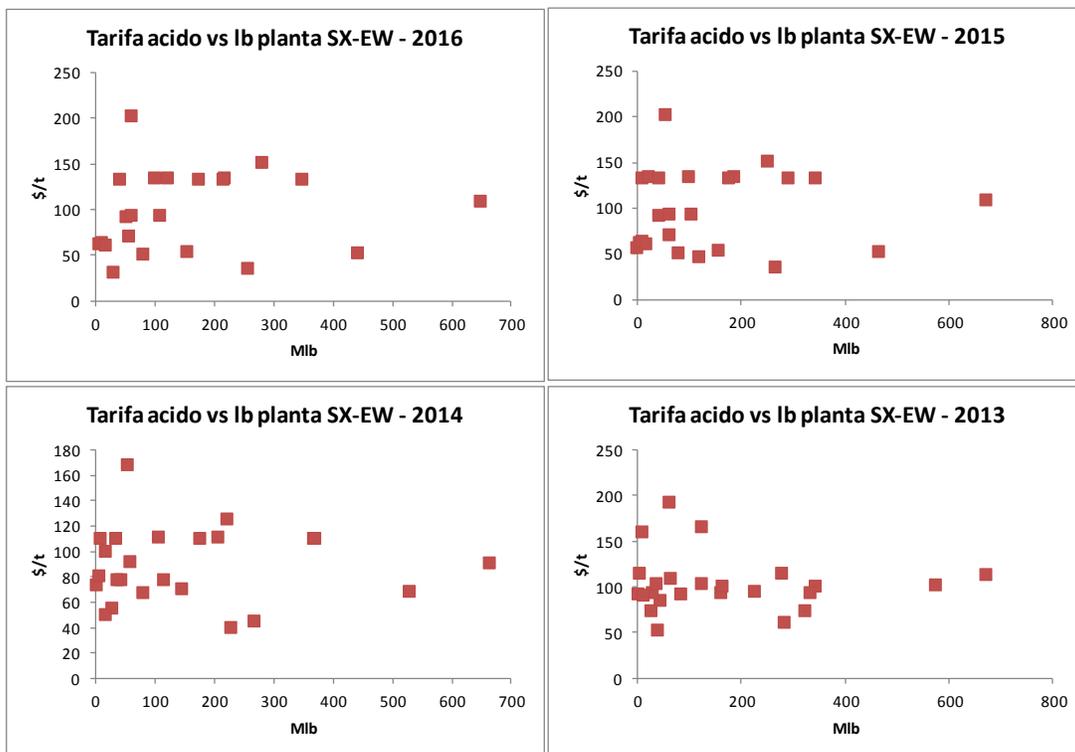


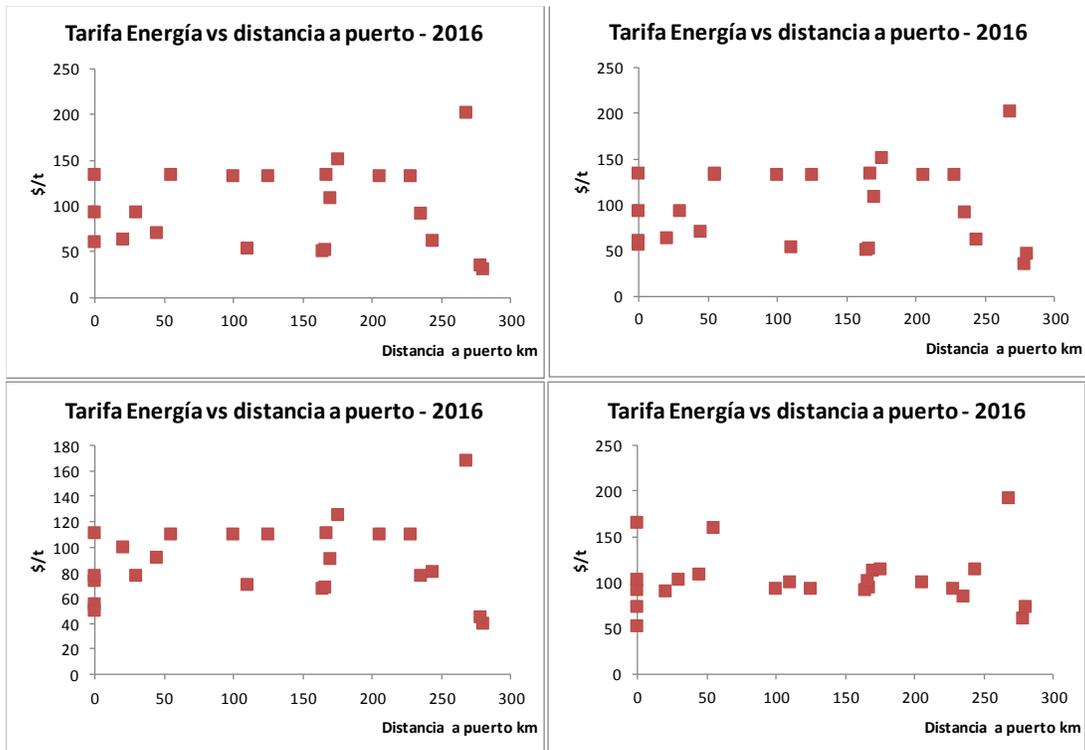
Fig 20 Precio del ácido spot. (Cochilco, 2016)



Graf. 61 Tarifa de ácido en función de las libras tratadas en planta de lixiviación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

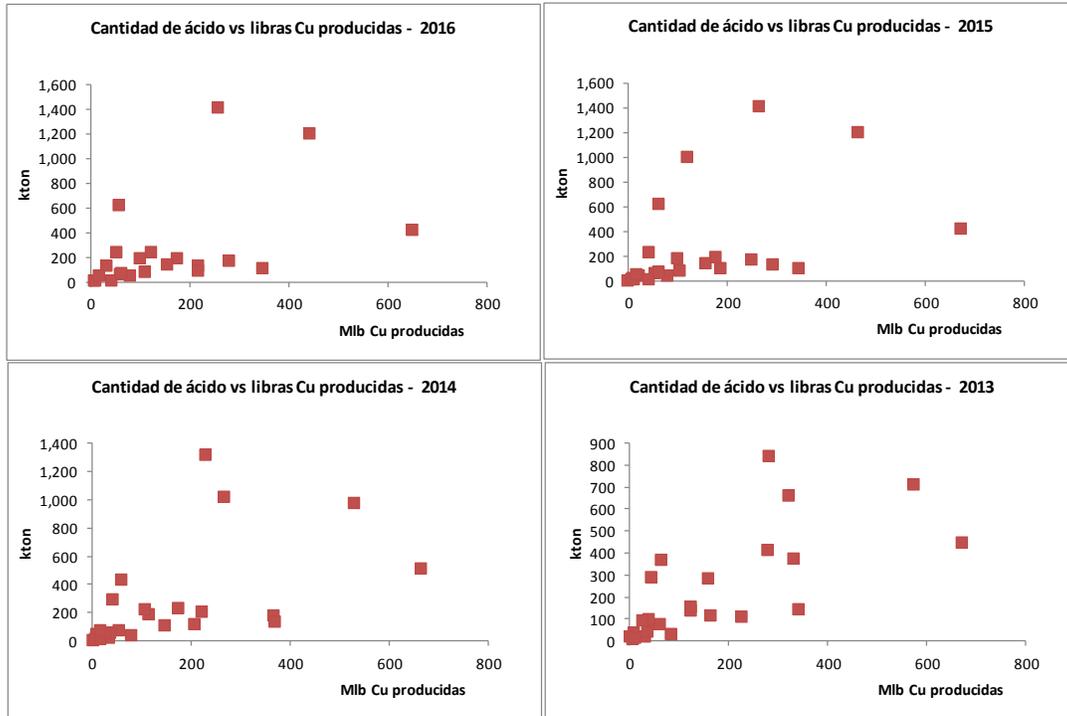


Graf. 62 Tarifa de ácido en función de las libras tratadas en planta SX-EW. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

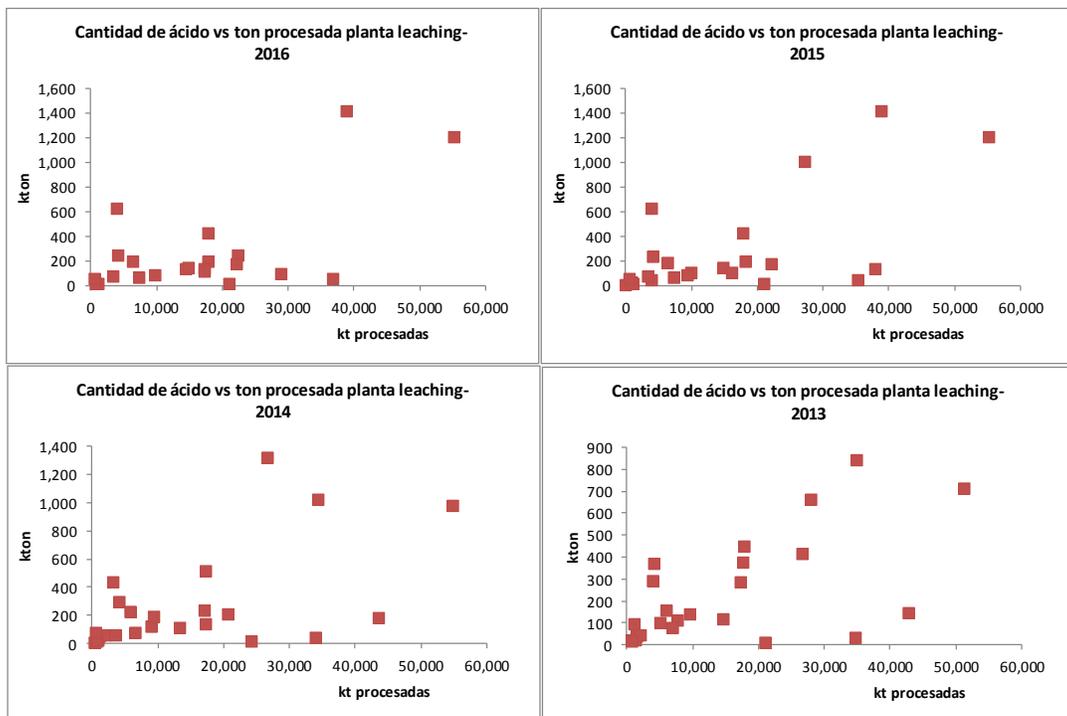


Graf. 63 Tarifa de ácido en función de la distancia a puerto de desembarco de ácido.  
Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

En cuanto a la cantidad de ácido utilizado en total, este debería depender de la cantidad de libras de Cu tratadas en las plantas de lixiviación y SX-EW. Por lo general, no está bien homologado entre las operaciones el límite de batería del consumo de ácidos entre estos procesos secuenciales, por lo tanto, se buscará una relación entre el total de ácido consumido por la operación y la cantidad de libras tratadas en las plantas. Al ver las gráficas (Graf. 64) es posible ver que efectivamente existe una relación, aunque existe una alta variabilidad en el consumo del ácido para operaciones de similar producción, debido, principalmente a las diferencias en la caracterización de los minerales oxidados que entran al proceso. La situación no se ve mejor si se analiza el consumo de ácido total en relación a la cantidad de mineral procesado en las pilas de lixiviación, si bien, existe una tendencia marcada para la mayoría de las operaciones, existen algunos ejemplos que rompen esta línea, por lo que la cantidad no gestionable baja a casi cero, según la metodología usada para el cálculo de esta zona.



Graf. 64 Cantidad de ácido en función de las libras de Cu producidas en el proceso. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 65 Cantidad de ácido en función de las toneladas procesadas en las pilas. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

## **Servicios.**

Los servicios, son trabajos realizados por contratistas asociados a labores productivas, de mantenimiento, desarrollo o de soporte a la operación. El uso que cada operación haga de los servicios externos, dependerá de la estructura organizacional y costos operacionales principalmente. Por lo general, las operaciones externalizan trabajos cuando el costo de realizar la labor en forma interna es mayor al precio de los servicios ofertados, la evaluación de riesgos asociados supera los límites admisibles o cuando el trabajo en sí está fuera de su alcance de negocio.

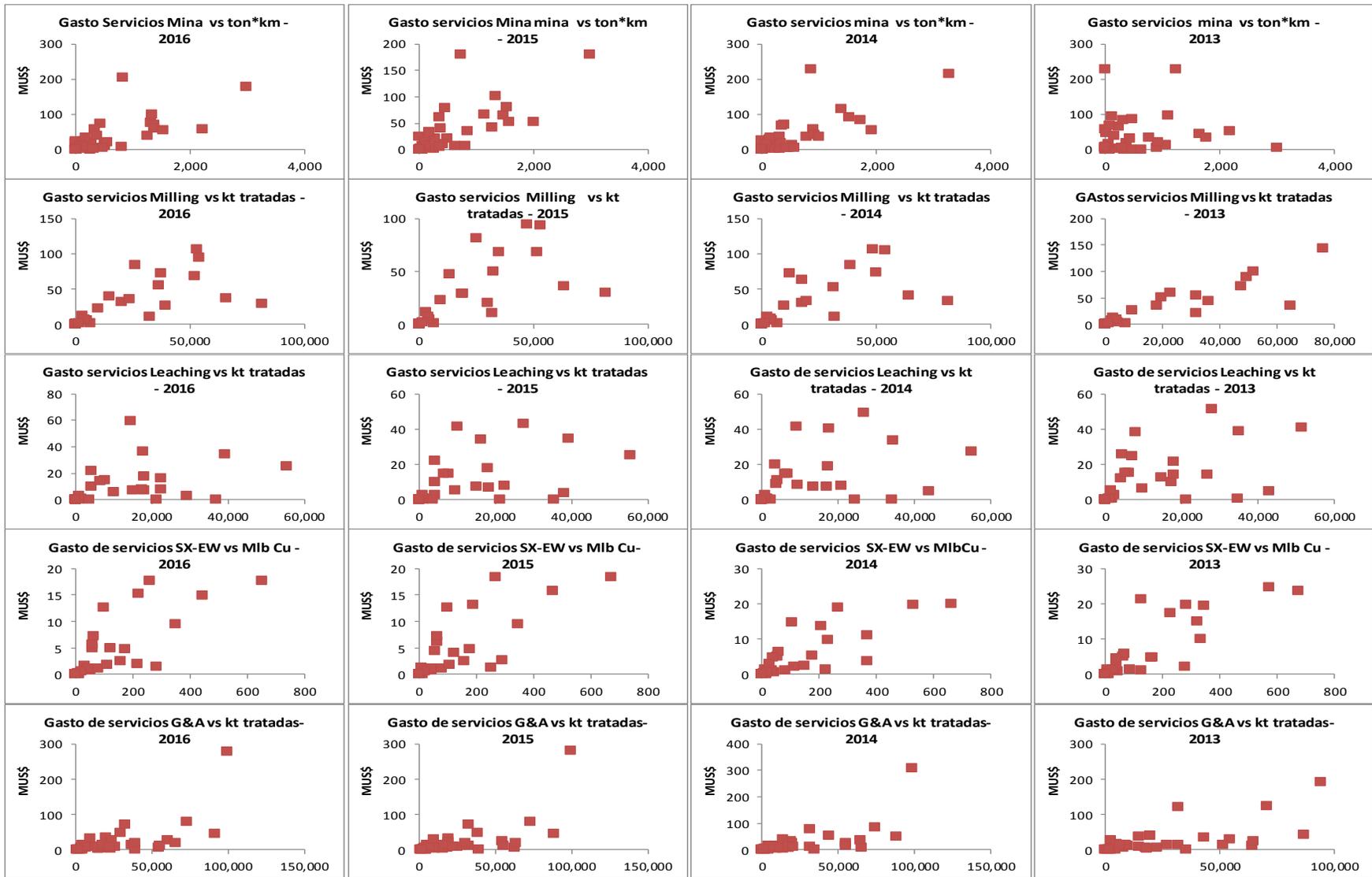
Se analizará la existencia de alguna condición de la operación que influya en la oferta o precios de los servicios contratados. Las condiciones a analizar son: tamaño del proceso y ubicación geográfica (altura y distancia a centro urbano). Se analizará cada proceso por separado, puesto que no sería correcto suponer una tarifa estándar que englobe todos los servicios utilizados por la organización.

Al observar los resultados obtenidos al graficar los gastos de los servicios asociados al proceso vs el tamaño del proceso, es posible ver algunas tendencias de proporcionalidad, pero existen, en todos los casos, operaciones que rompen la tendencia, llevando la zona no gestionable a cero, por lo tanto, no es necesario modelar la zona no gestionable. Lo anterior sucede, porque algunas operaciones internalizan la gran mayoría de los servicios de mantenimiento y apoyo a la producción, por lo tanto, esos gastos se ven reflejado en el resto de los ítems de gasto y no en los servicios propiamente tal. (Graf. 66)

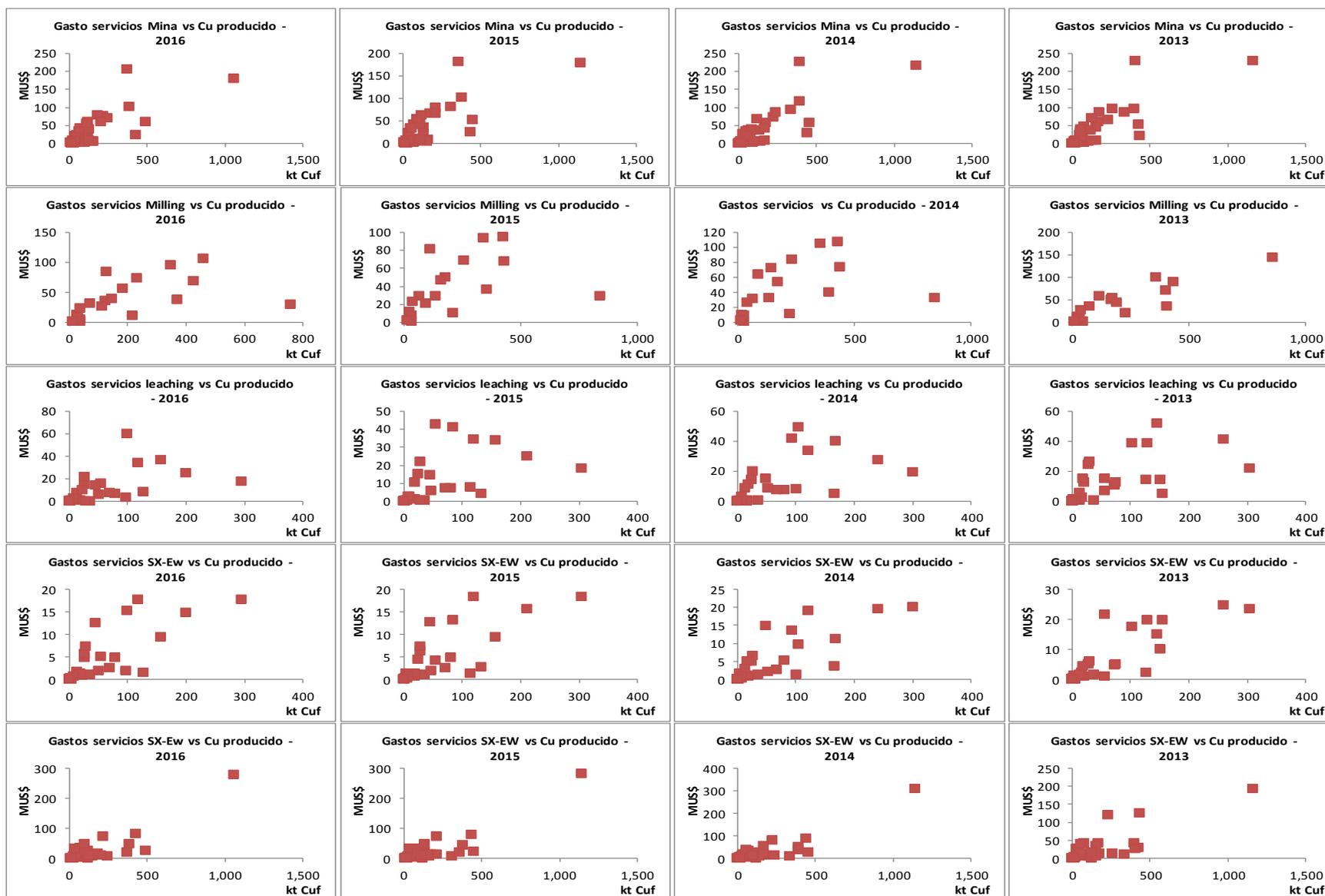
Lo mismo sucede cuando se relaciona el gasto de los servicios con el volumen de cobre producido, si bien la tendencia existe, hay varias operaciones fuera de ella, por lo tanto, no es necesario modelar la zona no gestionable. (Graf. 67)

Para el análisis de la relación entre los servicios y la altura geográfica se usará los costos por unidad de proceso, con el objeto de buscar algún rendimiento que pudiese verse afectado por la altura en la cual se desarrollan las labores. Al revisar los resultados tampoco se encuentra una tendencia o relación que permita calcular una zona no gestionable. (Graf. 68)

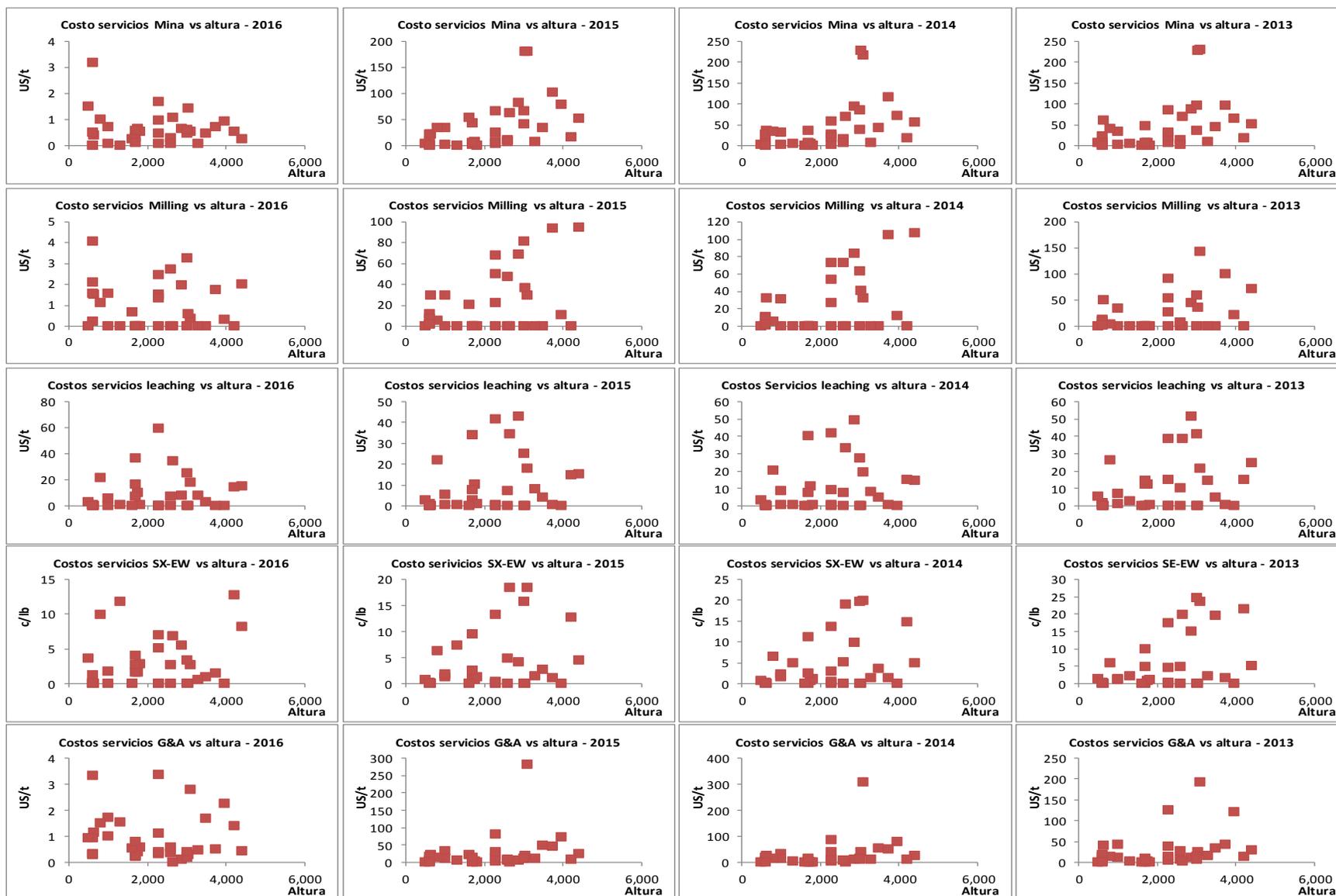
De la misma forma, no se encontró relación alguna entre los costos de servicios por proceso y la distancia al centro urbano más cercano, por lo tanto, tampoco se modelará la zona no gestionable, quedando todo el costo como gestionable. (Graf. 69)



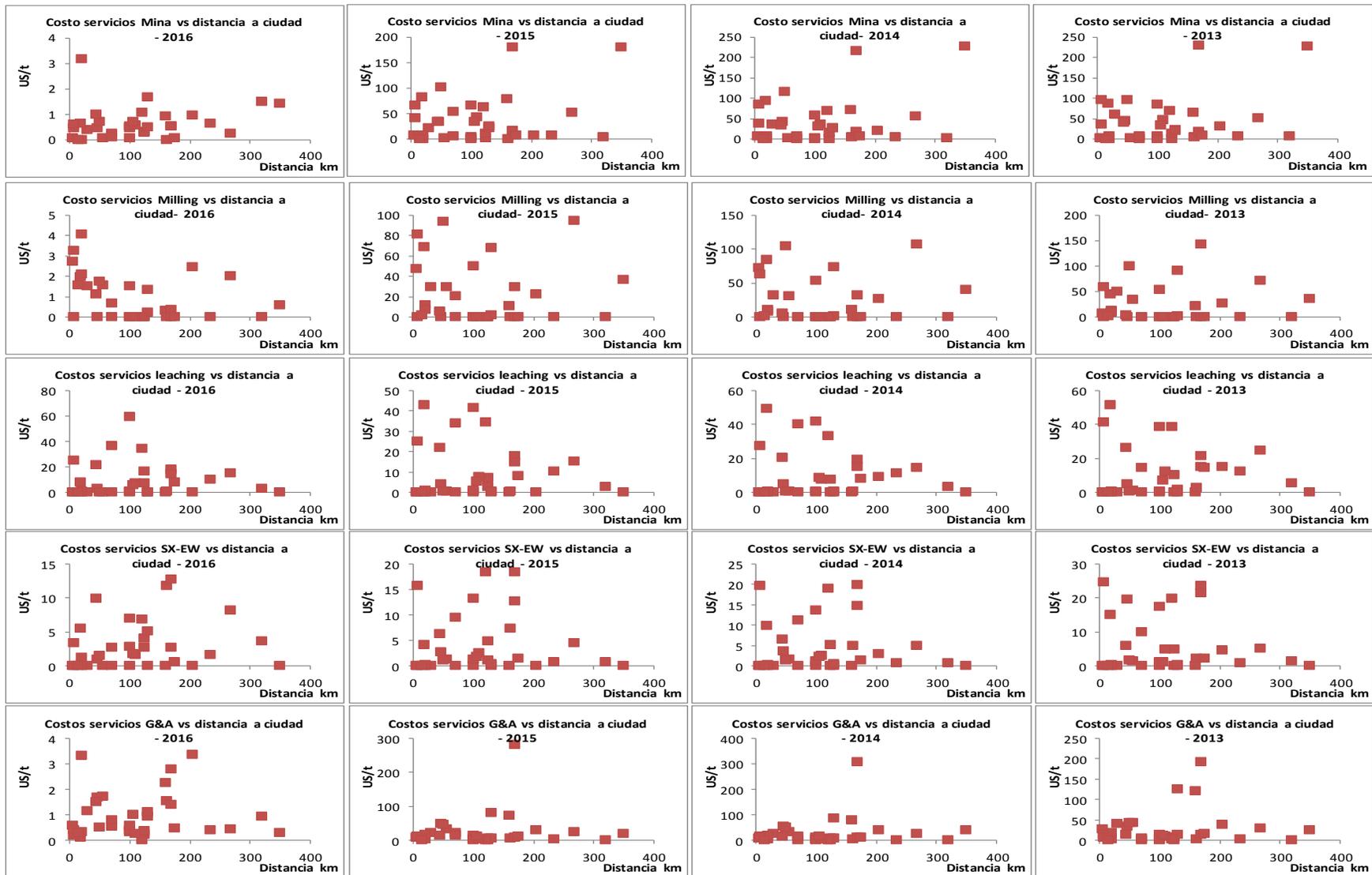
Graf. 66 Gastos de servicios vs tamaño del proceso: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 67 Gastos de servicios vs producción de cobre: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 68 Costos de servicios vs altura geográfica: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 69 Costos de servicios vs distancia a centro urbano: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

## **Otros insumos**

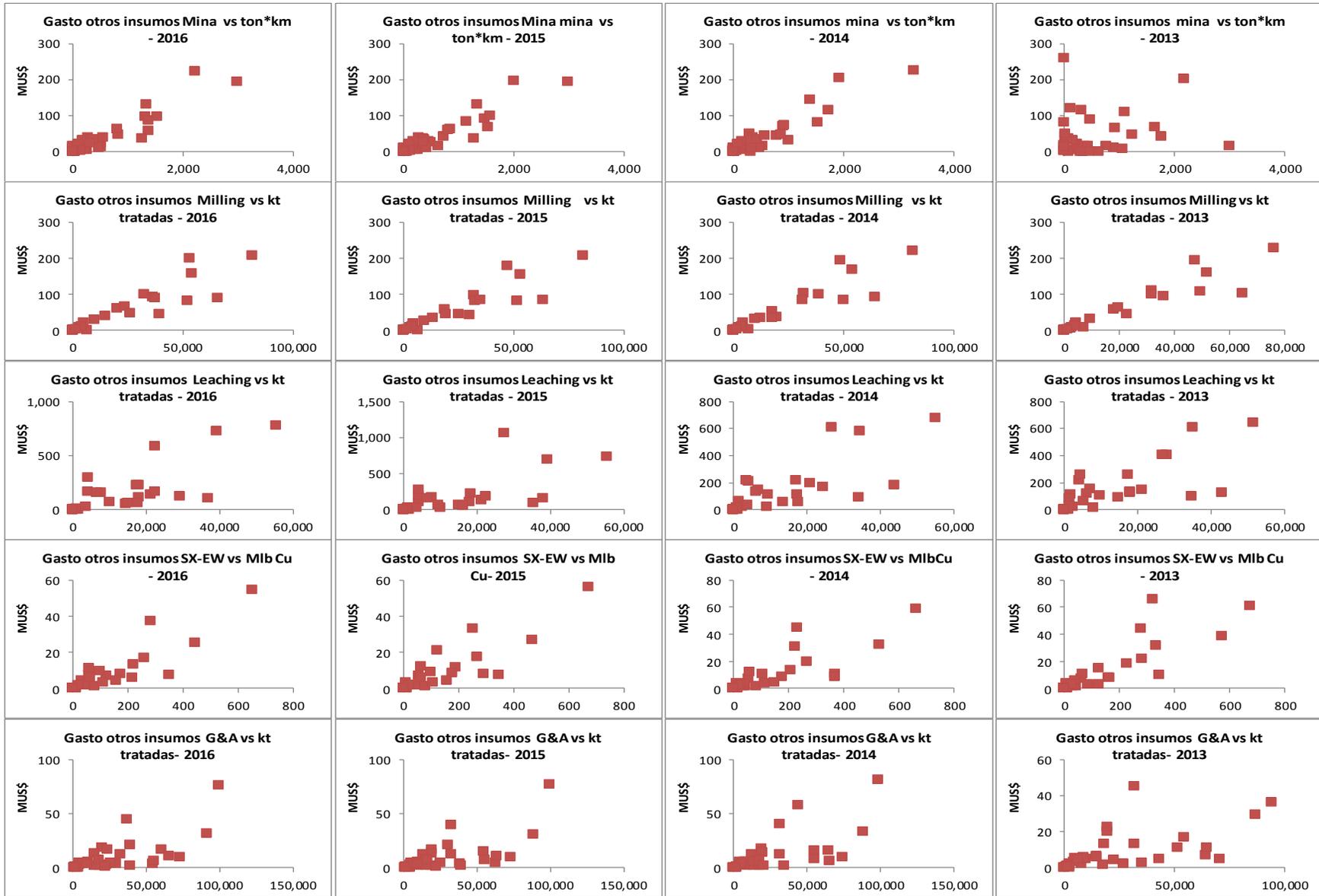
El resto de los insumos, según la estructura de la base datos utilizada, está considerado en un sólo paquete, quedando en él: explosivos, neumáticos, aceros de perforación, aceros de desgaste, bolas de molinos, correas, reactivos de flotación e insumos de oficina. Si bien, estos representan un peso menor dentro de los costos de la operación, el tratamiento paquetizado hace poco gestionable esta variable. Aun así, se determinará la fracción gestionable y no gestionable, tomando en cuenta la relación que tenga el gasto de los insumos respecto al tamaño del proceso, la producción de cobre y la ubicación de la operación.

Al observar los resultados en las gráficas (Graf. 70) es posible ver que el gasto de los materiales presentan una marcada proporcionalidad en cuanto al tamaño del proceso para la mina, la planta concentradora y la planta SX-EW. Para el resto de los procesos, si bien se mantiene la tendencia al alza, existe una mayor variabilidad entre las operaciones en cuanto al gasto por insumos.

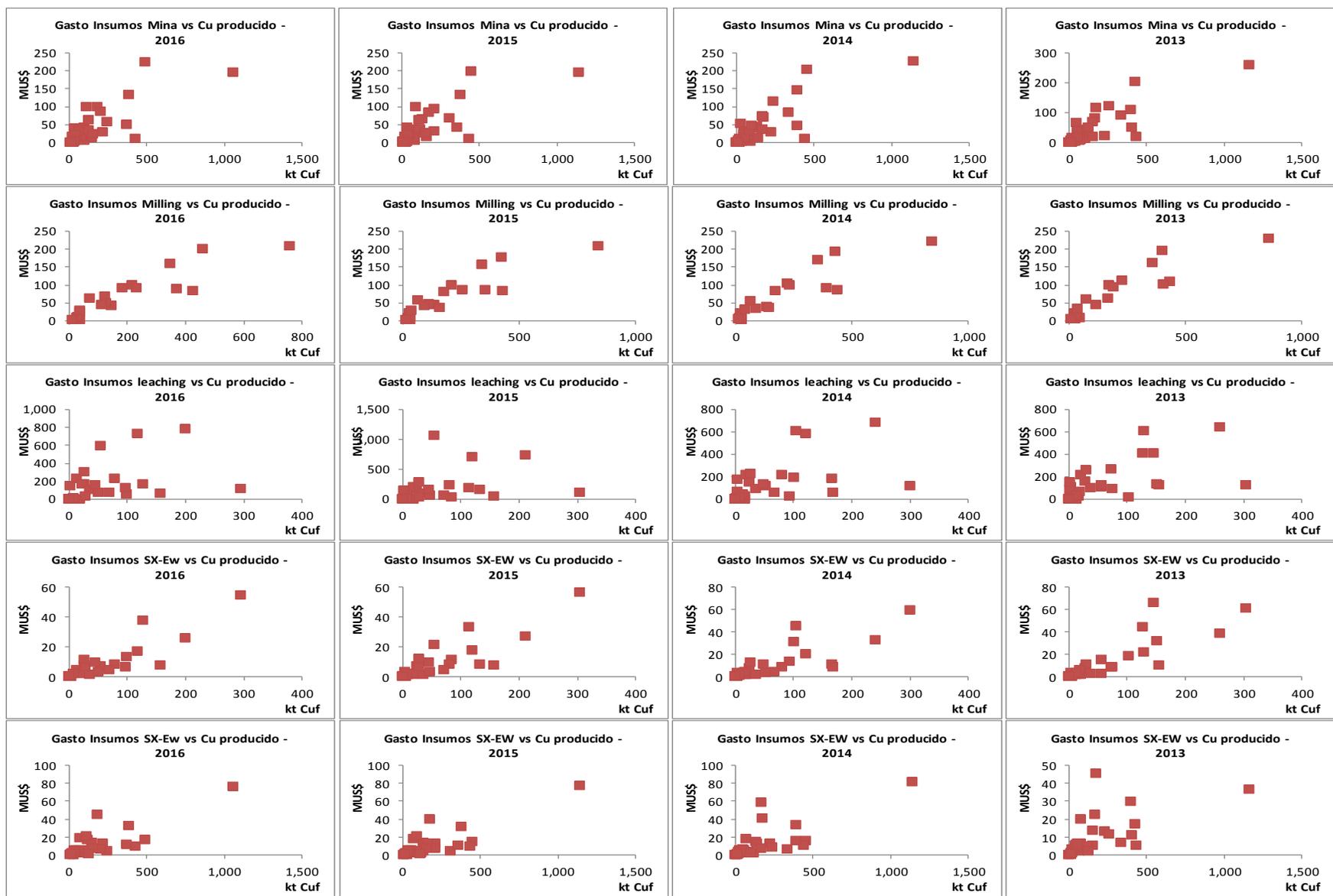
Al realizar el mismo análisis con respecto al cobre producido (Graf. 71), la proporcionalidad se mantiene para la planta concentradora y la planta SX-EW. En el caso de la mina, si bien existe una marcada tendencia, hay una operación que sale del comportamiento que presentan las otras operaciones, reduciendo casi a cero la zona no gestionable del gasto de los insumos utilizados en la mina.

No se observa una relación clara o tendencia, al comparar el gasto de los insumos con la ubicación geográfica, ni por condiciones de alturas, o por la distancia al centro urbano más cercano (Graf. 72, Graf. 73). Por lo tanto, para el análisis del 2016, esta variable no será considerada como limitante del potencial de competitividad de una operación.

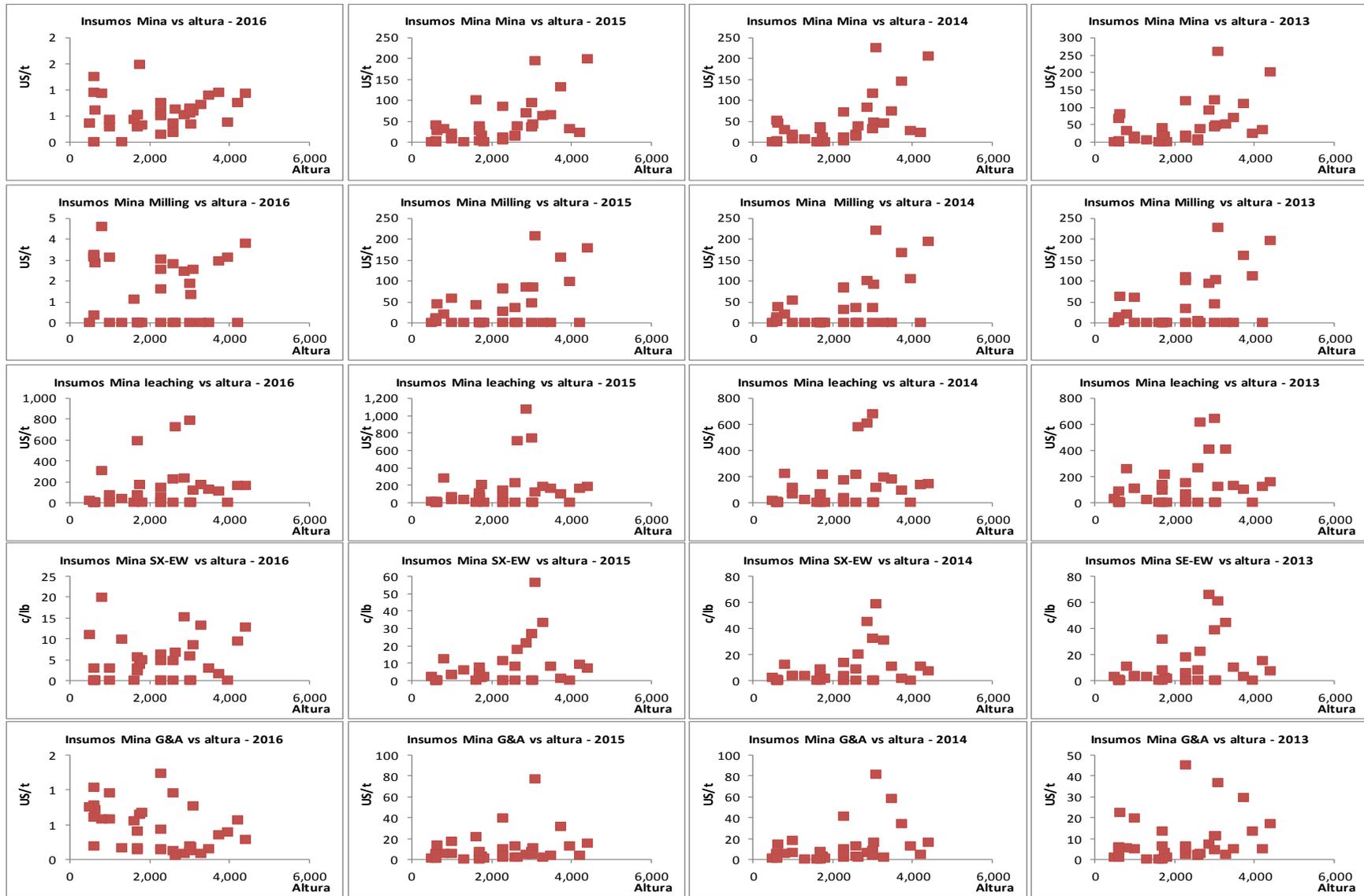
Debido a que las correlaciones no tienen una explicación o asociación a un solo insumo, no se considerará en el análisis de competitividad, una fracción gestionable, sino será el mercado el que marque el referente con el cual comparar.



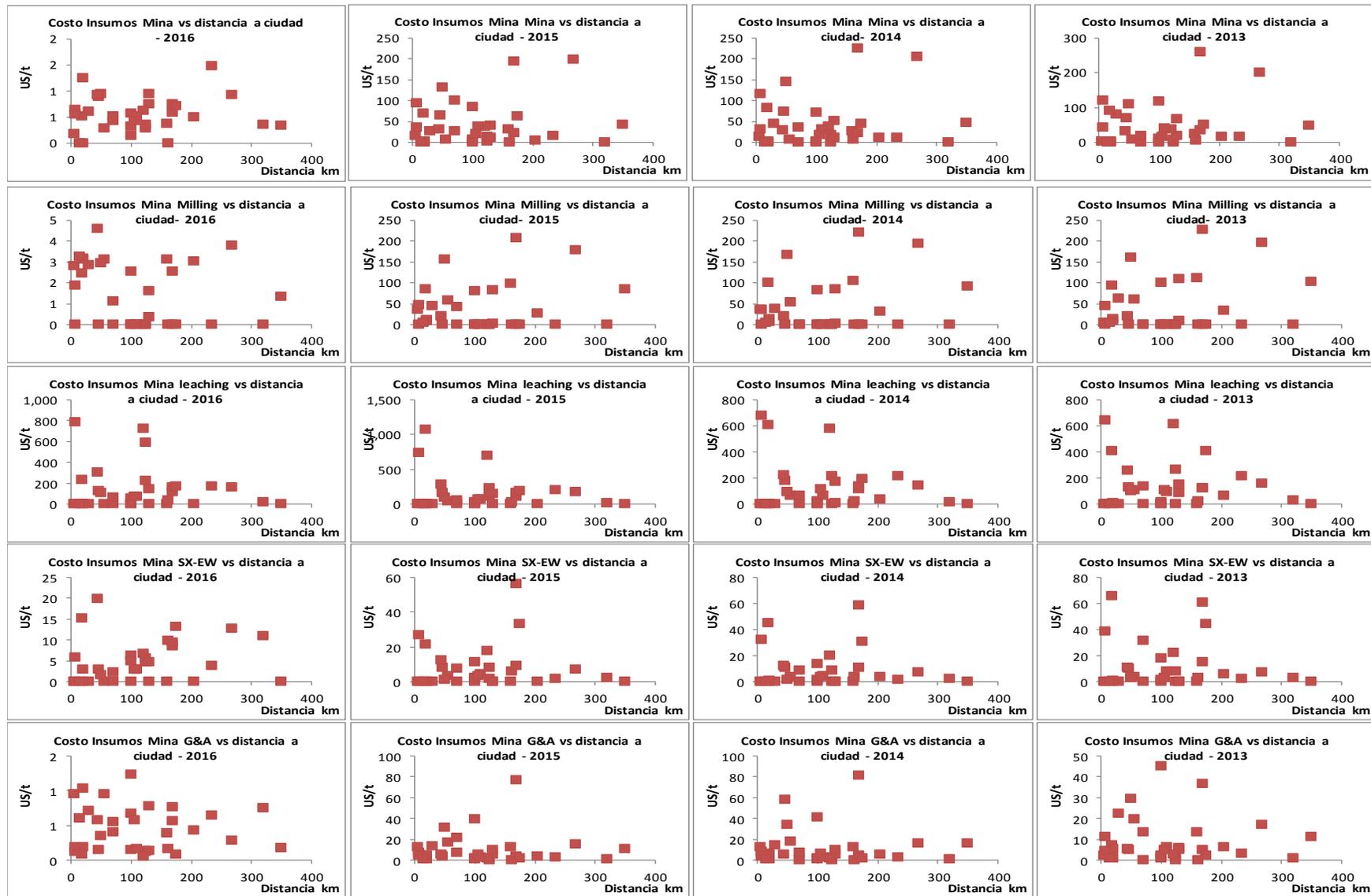
Graf. 70 Gastos de insumo vs tamaño del proceso: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 71 Gastos de insumo vs producción de cobre: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 72 Gastos de insumo vs altura geográfica: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)



Graf. 73 Gastos de insumo vs distancia a centro urbano: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)

### 3. Desarrollo de la metodología de análisis

Como fue visto en el punto anterior, las variables endógenas, en algunos casos, condicionan la estructura de costos de las operaciones mineras y es posible reconocer dos tipos de costos: costos gestionables y costos no gestionables.

Los costos gestionables son aquellos que no dependen de las condiciones internas de la operación, por lo tanto, es posible realizar algún tipo de gestión en busca de ahorros. Es esta fracción del costo quien dará el potencial de mejoramiento de la competitividad a la operación y cualquier acción positiva sobre éste, tendrá como resultado, un menor costo operacional y por ende una mejor posición de competitividad en el mercado.

En cambio, los costos no gestionables son aquellos que dependen de la estructura, configuración o ubicación de la operación, por lo tanto, es un costo intrínseco y no hay posibilidad de ejercer una acción que permita disminuir esta fracción en el corto o mediano plazo.

Llevando los costos por procesos a una base común y comparable, y considerando sólo la fracción gestionable, es posible determinar la diferencia entre una operación cualquiera y aquella que presente el menor costo (El bench), esta diferencia se denominará “potencial gestionable” y representa la brecha existente, en el mercado comparado, entre la operación con el mejor desempeño y la compañía en evaluación.

Si bien en el capítulo anterior se encontraron algunas relaciones entre el costo y las variables endógenas, la metodología desarrollada será del tipo genérica, puesto que los mercados y condiciones evolucionan, y algunas correlaciones existentes en la data analizada podrían no ser ciertas en otros períodos. Lo mismo ocurre con aquellas condiciones que no marcaron ninguna tipo de correlación.

Por lo tanto, en forma genérica, es posible escribir el gasto asociado a un ítem relevante  $i$  de un proceso  $j$  de la siguiente forma:

$$G_{i,j} = \left( (\alpha_{1,i,j} + \alpha_{2,i,j}) \times P_{i,j} \right) \times \left( (\beta_{1,i,j} + \beta_{2,i,j}) \times Q_{i,j} \right)$$

Ecuación 11. Ecuación genérica para un gasto separado en gestionable y no gestionable.

Donde:

$G_{i,j}$  = El gasto de ítem  $i$  asociado al proceso  $j$ .

$\alpha_{1,i,j}$  = Es la fracción gestionable de la tarifa del ítem  $i$  para el proceso  $j$

$\alpha_{2,i,j}$  = Es la fracción no gestionable de la tarifa del ítem  $i$  para el proceso  $j$

$P_{i,j}$  = Tarifa del ítem  $i$  para el proceso  $j$

$\beta_{1,i,j}$  = Es la fracción gestionable de la cantidad del ítem  $i$  para el proceso  $j$

$\beta_{2,i,j}$  = Es la fracción no gestionable de la cantidad del ítem  $i$  para el proceso  $j$

$Q_{i,j}$  = Cantidad del insumo  $i$  en el proceso  $j$

Bajo las siguientes restricciones:

$$(1) \rightarrow \alpha_{1,i,j} + \alpha_{2,i,j} = 1$$

$$(2) \rightarrow \beta_{1,i,j} + \beta_{2,i,j} = 1$$

Aplicando la Ecuación 11, es posible reescribir las ecuaciones de los procesos de la siguiente forma:

$$G_{mina} = \sum_{i=1}^{i=6} \left( (\alpha_{1,i,mina} + \alpha_{2,i,mina}) \times P_{i,mina} \right) \times \left( (\beta_{1,i,mina} + \beta_{2,i,mina}) \times Q_{i,mina} \right)$$

$$G_{milling} = \sum_{i=1}^{i=5} \left( (\alpha_{1,i,milling} + \alpha_{2,i,milling}) \times P_{i,milling} \right) \times \left( (\beta_{1,i,milling} + \beta_{2,i,milling}) \times Q_{i,milling} \right)$$

$$G_{leaching} = \sum_{i=1}^{i=6} \left( (\alpha_{1,i,leaching} + \alpha_{2,i,leaching}) \times P_{i,leaching} \right) \times \left( (\beta_{1,i,leaching} + \beta_{2,i,leaching}) \times Q_{i,leaching} \right)$$

$$G_{Sx-Ew} = \sum_{i=1}^{i=5} \left( (\alpha_{1,i,Sx-Ew} + \alpha_{2,i,Sx-Ew}) \times P_{i,Sx-Ew} \right) \times \left( (\beta_{1,i,Sx-Ew} + \beta_{2,i,Sx-Ew}) \times Q_{i,Sx-Ew} \right)$$

$$G_{G\&A} = \sum_{i=1}^{i=5} \left( (\alpha_{1,i,G\&A} + \alpha_{2,i,G\&A}) \times P_{i,G\&A} \right) \times \left( (\beta_{1,i,G\&A} + \beta_{2,i,G\&A}) \times Q_{i,G\&A} \right)$$

Ecuación 12. Gasto por proceso separado en gestionable y no gestionable.

De la misma forma es posible re escribir la ecuación para el costo pre crédito y el cash cost (C1).

$$G_{PC} = \sum_{j=1}^{j=5} \sum_{i=1}^{i=6} \left( (\alpha_{1,i,j} + \alpha_{2,i,j}) \times P_{i,j} \right) \times \left( (\beta_{1,i,j} + \beta_{2,i,j}) \times Q_{i,j} \right) + TCRC + Shipping$$

$$G_{C1} = \sum_{j=1}^{j=5} \sum_{i=1}^{i=6} \left( (\alpha_{1,i,j} + \alpha_{2,i,j}) \times P_{i,j} \right) \times \left( (\beta_{1,i,j} + \beta_{2,i,j}) \times Q_{i,j} \right) + TCRC + Shipping + créditos$$

Ecuación 13. Gasto pre crédito y cash cost separado en gestionable y no gestionable.

Teniendo en cuenta las ecuaciones del gasto por proceso (en unidades monetarias) separada en gestionable y no gestionables, es necesario llevar cada proceso a una unidad comparable, que permita identificar los potenciales ahorros gestionables. Para esto, se utilizarán las unidades básicas comunes de cada proceso.

Para el caso del proceso de extracción se utilizará como unidad común las toneladas movidas por kilómetro equivalente; para el proceso de molienda y flotación se usarán las toneladas procesadas en la planta concentradora; para el proceso de lixiviación se considerarán

las toneladas beneficiadas en la pila principal y en la planta de extracción por solvente y electro obtención se utilizarán las libras de cobre producidas. Para el caso del G&A se considerarán las toneladas procesadas en planta, pues da una idea del tamaño de la estructura de la operación y por ende de la estructura organizacional.

Por lo tanto el costo comparable por proceso se escribe de la siguiente forma:

$$C_{mina} = \frac{(\text{ratio}_{EM} + 1) \times \sum_{i=1}^{i=6} \left( (\alpha_{1,i,mina} + \alpha_{2,i,mina}) \times P_{i,mina} \right) \times \left( (\beta_{1,i,mina} + \beta_{2,i,mina}) \times Q_{i,mina} \right)}{\text{ton}_{mov} \times D_{eq}}$$

$$C_{milling} = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \left( (\alpha_{1,i,milling} + \alpha_{2,i,milling}) \times P_{i,milling} \right) \times \left( (\beta_{1,i,milling} + \beta_{2,i,milling}) \times Q_{i,milling} \right)}{\text{ton}_{proc}}$$

$$C_{Leaching} = \frac{\sum_{i=1}^{i=6} \left( (\alpha_{1,i,leaching} + \alpha_{2,i,leaching}) \times P_{i,leaching} \right) \times \left( (\beta_{1,i,leaching} + \beta_{2,i,leaching}) \times Q_{i,leaching} \right)}{\text{ton}_{benef}}$$

$$C_{Sx-Ew} = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \left( (\alpha_{1,i,Sx-Ew} + \alpha_{2,i,Sx-Ew}) \times P_{i,Sx-Ew} \right) \times \left( (\beta_{1,i,Sx-Ew} + \beta_{2,i,Sx-Ew}) \times Q_{i,Sx-Ew} \right)}{\text{lb}_{cuf}}$$

$$C_{G\&A} = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \left( (\alpha_{1,i,G\&A} + \alpha_{2,i,G\&A}) \times P_{i,G\&A} \right) \times \left( (\beta_{1,i,G\&A} + \beta_{2,i,G\&A}) \times Q_{i,G\&A} \right)}{\text{ton}_{tratadas}}$$

Ecuación 14. Costo comparable por proceso separado en gestionable y no gestionable.

Para el caso de los TCRC, shipping y créditos, estos serán divididos por las libras de cobre producido para hacerlos comparables, lo mismo sucede con el costo pre crédito y cash cost.

El proceso de comparación puede ser realizado en distintos niveles según sean las necesidades del resultado esperado. Es posible realizar una comparación por cada ítem de gasto en los procesos operacionales separado en precio y cantidad, comparar a nivel de proceso operacional o, por último, a nivel de pre crédito. El tipo de comparación, su uso, alcance, ventaja y desventaja se muestra en la siguiente tabla.

Nivel	Alcance	Uso	Ventaja	Desventaja
<b>Pre crédito</b>	Se compara directamente las diferencias entre los costos pre créditos contra el referente.	Se utiliza para identificar en qué posición de la industria comparada se encuentra la operación	Permite comparar sin considerar el efecto de los créditos por subproductos en el costo C1, por lo tanto, se compara directamente la gestión operacional.	Sólo entrega la diferencia entre el costo pre crédito de la operación y el referente del mercado comparado, no indica que proceso gestionar y mucho menos que variable. por lo tanto, no mide el potencial de competitividad de la operación
<b>Proceso</b>	Se compara las diferencias entre los costos comparables de los procesos contra el referente.	Se utiliza para identificar rápidamente las brechas del proceso con el resto de las operaciones comparadas.	Es un análisis sencillo y es una primera evaluación al análisis de ítem de gasto a nivel de proceso. Permite identificar qué proceso presenta mayor potencial de gestión.	Este análisis no permite identificar que variable es necesario gestionar para mejorar la competitividad.
<b>Ítem de gasto global</b>	Se compara en cada proceso el costo comparable de cada ítem de gasto, a nivel global (no hay desglose en precio y cantidad) contra el referente del mercado.	Se utiliza para identificar las brechas globales del proceso por ítem de gasto.	Permite identificar cuáles son los ítem de gasto más gestionables o de mayor impacto en cada proceso.	No indica qué variable (precio / cantidad) es la que produce el potencial gestionable.
<b>Ítem de gasto</b>	Se compara en cada proceso el costo comparable de cada ítem de gasto, tanto en precio como en cantidad. La comparación se realiza con el referente de la variable evaluada	Se utiliza para identificar a nivel de ítem de gasto el potencial existente en cada uno de los ítems en forma independiente, desglosando los efectos precio - cantidad	Permite identificar claramente las brechas existentes.	La comparación se realiza a nivel local, por lo que se pierde el sentido global del proceso. Además, requiere mayor tiempo de análisis e información disponible

Tabla 8: Niveles de comparación de medir el potencial de competitividad de una operación (elaboración propia).

Para comparaciones de alto nivel (pre crédito y nivel proceso), muchas veces las operaciones pueden tener costos no representativos de la realidad. Por ejemplo, durante la puesta en marcha de una operación, parte de la producción es capitalizada y el resto va como al costeo de la operación, esto hace que los costos se distorsionen, mostrando valores que no son representativos y no lo hacen comparables con el resto de las operaciones. Por otra lado, también puede haber innovaciones o condiciones no replicables, entregando falsos referentes que lleven a mostrar diferencias exageradas y por ende, potenciales inexistentes para el resto de las operaciones. Para evitar este tipo de efectos y no perder el foco en lo realmente gestionable, se calculará un referente basado en la distribución que presenten los costos del mercado comparado. El mercado tradicionalmente se ha dividido en cuartiles, es por ello, que se tomará la misma división, por lo tanto, el referente corresponderá al costo que represente el percentil 25 de la distribución de la variable en el mercado analizado.

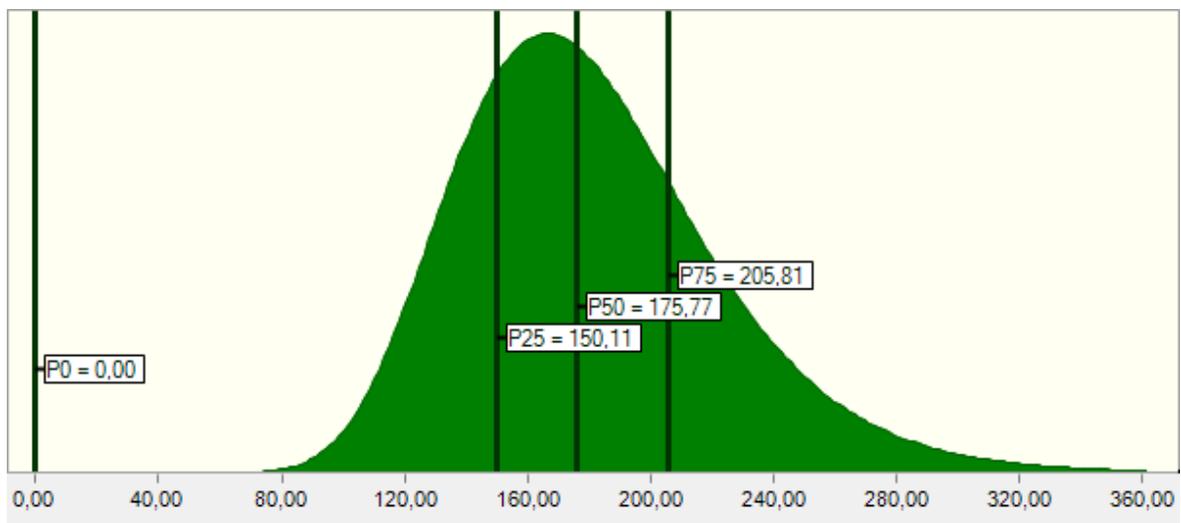


Fig 21 Cuartil de costos pre créditos para el año 2016, mercado nacional.

En la figura anterior, muestra la distribución que presenta la industria nacional del cobre para el costo pre crédito. Para este caso, el costo referente sería de 150,1 c/lb.

La comparación se basa en la simple resta de los costos comparables entre la operación evaluada y el referente. La diferencia representará el potencial de mejoramiento de la competitividad y deberá ser llevada de la unidad común de comparación a una unidad de gasto (unidades monetarias), para luego ser llevada al costo de c/lb para calcular el impacto sobre el C1. Con este proceso se está considerando las diferencias entre las operaciones en cuanto a su ley de Cobre total (cantidad de cobre por unidad tratada) y su recuperación (cobre recuperado del cobre total tratado). En el caso de resultar una diferencia negativa, eso quiere decir, que la operación ya se encuentra en el primer cuartil, por lo tanto, la brecha para mejorar su potencial competitivo se considerará nula.

Para focalizar los esfuerzos de gestión en la búsqueda de la reducción de costos, es necesario identificar correctamente el ahorro potencial asociado al precio gestionable y el ahorro asociado a la cantidad gestionable, es decir, el efecto de bajar las tarifas o el efecto de

mejorar el rendimiento o productividad en el proceso. Para esto, y teniendo en cuenta la Ecuación 11, Se desarrollará gráficamente el efecto del precio y cantidad en los términos ya expuestos.

Sea el punto (1) el gasto original de un ítem, el cual se calcula como el producto de la cantidad utilizada y el precio unitario del ítem y (2) el menor gasto al cual puede llegar el ítem en cuestión, es decir, llevando a cero toda la fracción gestionable (utilizar todo el potencial), entonces el problema radica en saber qué parte del ahorro neto  $((1)-(2))$  es atribuido al precio y qué parte a la menor cantidad utilizada (ver Fig 22).

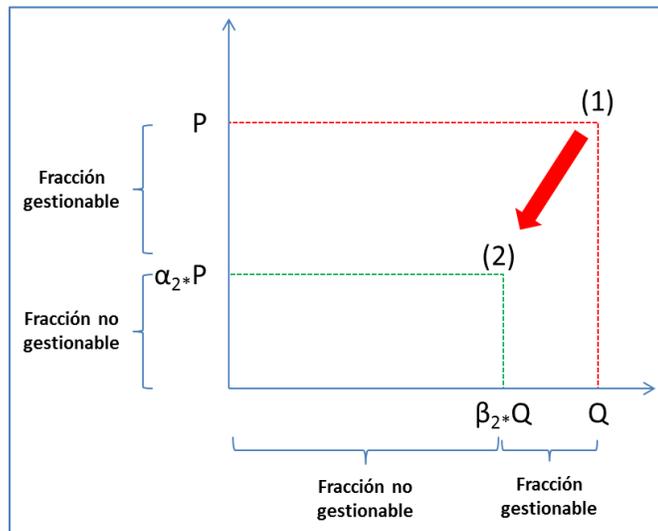


Fig 22 Esquema general para el cálculo del efecto precio y cantidad del ahorro gestionable (Elaboración propia)

Para efectos prácticos, el ahorro corresponde a la diferencia de las áreas entre el cuadrante formado entre el origen y  $P * Q$  y el cuadrante formado entre el origen y  $\alpha_2 * \beta_2 * P * Q$ . Por temas constructivos y separación de los efectos, esta área será dividida en 3 (ver Fig 23), la primera (a) será denominada “efecto puro del precio”, el área (b) “efecto puro de la cantidad” y finalmente el área (c) se llamará “efecto combinado”.

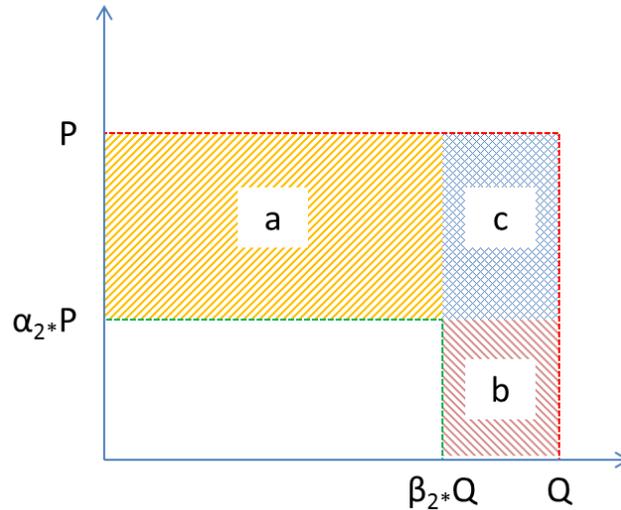


Fig 23 Áreas de los efectos gestionables sobre el total del potencial ahorro (Elaboración propia)

Desarrollando el álgebra se tiene que el área asociada al efecto precio se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \text{efecto precio} &= (P - \alpha_2 P) \times \beta_2 Q \\
 \text{efecto precio} &= P(1 - \alpha_2) \times \beta_2 Q \\
 \text{efecto precio} &= \alpha_1 \beta_2 P Q
 \end{aligned}$$

Ecuación 15. Efecto precio puro.

De la misma forma, se puede calcular el efecto asociado a la disminución de la cantidad.

$$\begin{aligned}
 \text{efecto cantidad} &= (Q - \beta_2 Q) \times \alpha_2 P \\
 \text{efecto cantidad} &= Q(1 - \beta_2) \times \alpha_2 P \\
 \text{efecto cantidad} &= \alpha_2 \beta_1 P Q
 \end{aligned}$$

Ecuación 16. Efecto cantidad puro.

Para el efecto combinado, se deben calcular el área del cuadrado (c) de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \text{efecto combinado} &= (P - \alpha_2 P) \times (Q - \beta_2 Q) \\
 \text{efecto combinado} &= P Q (1 - \alpha_2) \times (1 - \beta_2) \\
 \text{efecto combinado} &= \alpha_1 \beta_1 P Q
 \end{aligned}$$

Ecuación 17. Efecto combinado.

Distribuyendo el efecto combinado en forma equitativa en el precio y la cantidad se obtiene el efecto final como se muestra a continuación.

$$\text{efecto precio} = PQ \left( \alpha_1 \beta_2 + \frac{\alpha_1 \beta_1}{2} \right)$$

$$\text{efecto cantidad} = PQ \left( \alpha_2 \beta_1 + \frac{\alpha_1 \beta_1}{2} \right)$$

Ecuación 18. Efecto precio y cantidad sobre un ahorro en el gasto.

De la misma forma es posible calcular la fracción gestionable y no gestionable del gasto o costo. Considerando el esquema de la Fig 22, es posible determinar la fracción gestionable como la resta entre las área formadas por  $P \cdot Q$  y el origen y el área formada por  $\alpha_2 \cdot \beta_2 \cdot P \cdot Q$ , es decir, la suma de las áreas (a), (b) y (c) de la Fig 23. Por otra parte, el gasto no gestionable es simplemente el área formada por  $\alpha_2 \cdot \beta_2 \cdot P \cdot Q$  y el origen.

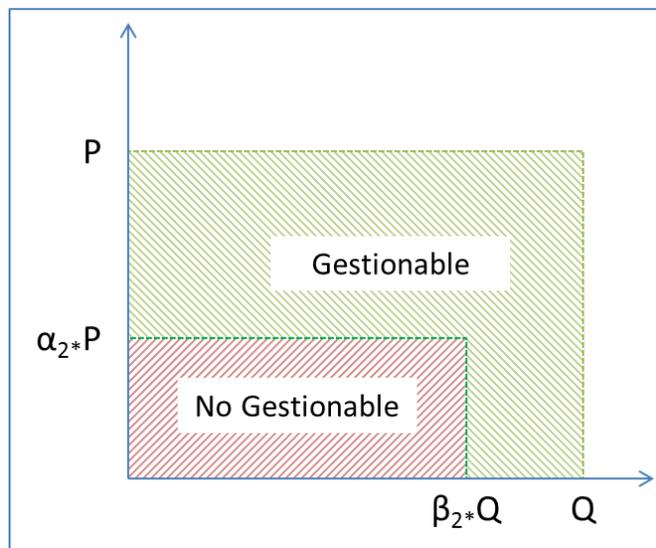


Fig 24 Áreas de gastos gestionable y no gestionable (Elaboración propia)

$$\text{Gasto gestionable} = PQ - \alpha_2 P \beta_2 Q$$

$$\text{Gasto gestionable} = PQ(1 - \alpha_2 \beta_2)$$

Ecuación 19. Gasto gestionable.

$$\text{Gasto no gestionable} = \alpha_2 P \beta_2 Q$$

Ecuación 20. Gasto no gestionable.

## Estimación de $\alpha$ y $\beta$

Existen tres maneras de estimar las fracciones gestionables y no gestionables de las tarifas y cantidades de cada ítem, para cada operación. Dependiendo de la prolijidad del cálculo esperado, la data disponible y las correlaciones del mercado en el momento del análisis, es posible elegir una de las tres formas que se discutirán a continuación.

- **Cálculo preciso:** Cuando se dispone de buena información de las operaciones del mercado en estudio, es posible identificar correctamente la fracción gestionable y no gestionable de cada tarifa y cantidad usada en los procesos para cada operación. Esto implica, conocer la estructura de costos, contratos y rendimientos de la capacidad instalada. Como análisis propio, es posible llegar a ese detalle de información, pero para el resto de las operaciones resulta casi imposible, puesto que no toda la información es pública o de fácil acceso. Por lo tanto, un correcto cálculo de  $\alpha$  y  $\beta$ , bajo esta mirada, sólo es recomendable para comparaciones internas de operaciones que conformen un grupo minero, con el fin de conocer hasta donde es posible gestionar los costos y las potenciales sinergias que se pueden lograr para mejorar la competitividad de cada operación.
- **Cálculo estimado por las correlaciones del mercado:** En base a las correlaciones existentes del mercado al momento del análisis, es posible determinar que fracción del precio o cantidad es gestionable. Por ejemplo, para aquellos ítems dependientes de alguna condición propia de la operación (ejemplo: altura geográfica) el valor de la variable podrá ser gestionable tanto como esté desviada sobre el modelo que resulte de la correlación. Con la base de datos publicada por la consultora Wood Mackenzie es posible realizar este cálculo, de la forma en que fueron evaluados los impactos de las variables endógenas sobre el comportamiento de los costos operacionales (Capítulo V.2). Esta metodología permite estimar ahorros potenciales que sean gestionables por la operación.

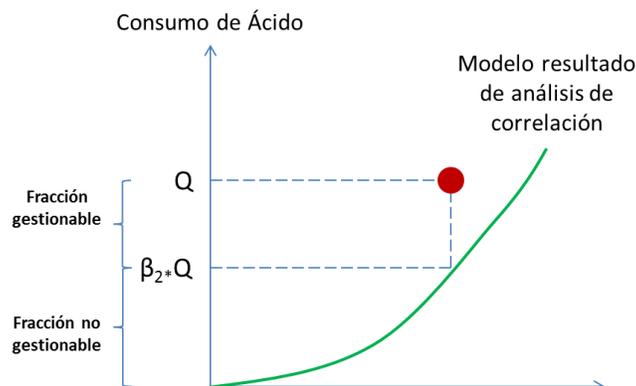


Fig 25 Esquema para el cálculo de  $\alpha$  y  $\beta$  según las correlaciones del mercado. (Elaboración propia)

- **Cálculo basado en el máximo potencial del mercado:** Una tercera forma, es dejar que el mercado decida que tan gestionable puede ser una variable. Tomando como referente a aquella operación que tiene el mejor desempeño sobre la variable. Esto implica que las operaciones considerarán la fracción gestionable hasta el punto de poder equiparar a la mejor operación del mercado para el ítem evaluado. Para esto, basta considerar que  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  son iguales a uno y  $\alpha_2$  y  $\beta_2$  son iguales a cero.

### ***Ejemplo para el desarrollo de la metodología.***

Para facilitar el entendimiento de la metodología y la forma en que ésta debe ser aplicada, se utilizará un ejemplo, en donde se irá evaluando el potencial competitivo bajo los distintos niveles de análisis de comparación.

Se considerarán 3 operaciones ficticias, con el objetivo de analizar el impacto de la gestión sobre el combustible (diésel) utilizado en el proceso de extracción mina en el costo C1 y por ende, en la posición de competitividad respecto al mercado. Para esto, es necesario tener cierta información básica, que permita desarrollar el análisis, lo cual es presentado en el siguiente cuadro:

	un	Operación 1	Operación 2	Operación 3
1 C1	c/lb	125.0	130.6	115.7
2 Créditos	c/lb	57.9	13.9	21.9
3 Pre crédito	c/lb	182.9	144.5	137.5
4 Producción Cu	kt	258	515	371
5 Gasto Mina	MUS\$	423	634	371
6 Movimiento Mina	kt	110,939	241,453	144,540
7 ratio E/M	veces	2.7	4.3	1.2
8 Distancia equivalente	km	12.27	9.15	5.73
9 Precio diésel	c/l	32.0	30.4	34.9
10 $\alpha_1$		0.70	0.80	0.85
11 $\alpha_2$		0.30	0.20	0.15
12 Cantidad diésel	kl	101,509	182,427	50,589
13 $\beta_1$		0.2	0.25	0.28
14 $\beta_2$		0.8	0.75	0.72

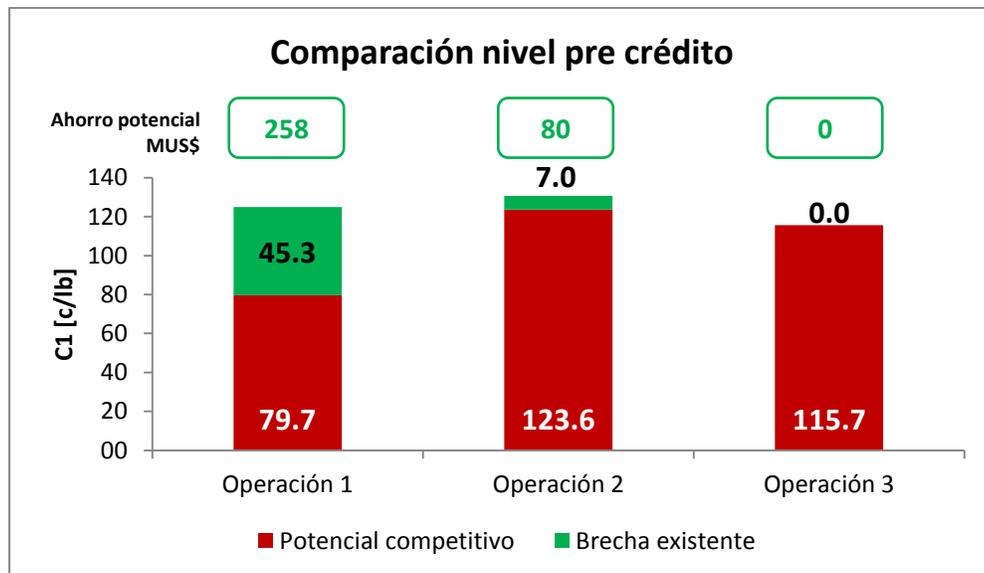
Tabla 9: Datos para ejemplo del uso de la metodología

- **Comparación a nivel de pre crédito**

Primero se debe determinar el referente que permita calcular la brecha con las operaciones evaluadas. El referente será el costo que represente el percentil 25 de la distribución de costos pre créditos. La brecha es la resta entre el costo pre crédito de la compañía evaluada con el costo pre crédito referente. La brecha se debe restar directamente sobre el actual C1 de la compañía y se obtiene la competitividad potencial de la compañía. Para conocer el monto asociado al ahorro que implicaría este mejoramiento de competitividad, se transforma la brecha en unidades monetarias a través de la producción. La siguiente tabla muestra el paso a paso de este tipo de comparación y los resultados obtenidos para el ejemplo planteado.

		Operación 1	Operación 2	Operación 3
1	Costo pre crédito (c/lb)	182.9	144.5	137.5
2	Costo referente	= percentil.exc(costos pre créditos, 0.25)		
		137.5		
3	Brecha	= Costo pre crédito operación - costos referente		
		45.3	7.0	0.0
4	Competitividad potencial	= C1 - brecha		
		79.7	123.6	115.7
5	Impacto sobre el C1	= (Competitividad potencial - C1) / C1		
		-36%	-5%	0%
6	Valorización ahorro (MUS\$)	= brecha*producción*2.20462/100		
		258	80	0

Tabla 10: Ejemplo de comparación nivel pre crédito



Graf. 74 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel pre credito Elaboración propia.

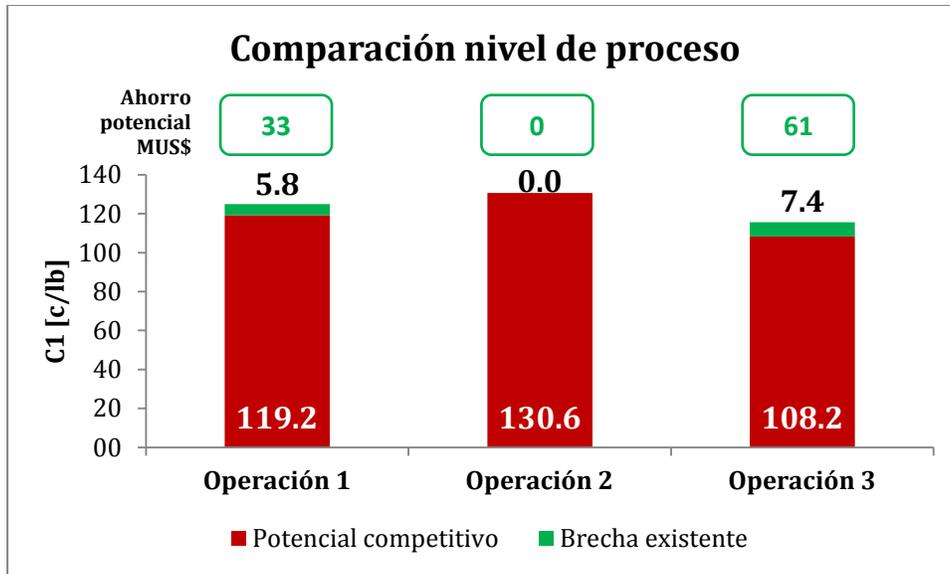
El ejemplo anterior muestra que el costo referente es de 137.5 c/lb, que coincide con el costo pre crédito de la operación 3 (Son 3 operaciones y el referente es el costo en el percentil 25). La operación 1, mejorando sus costos operacionales hasta alcanzar el mismo pre crédito que la operación 3, mejoraría su costo operacional en un 36%, quedando muy por debajo de las otras dos operaciones (ayudada por los altos niveles de ingresos asociados a los créditos por subproductos). Esto, implicaría un ahorro de MUS\$ 258 por año para la operación. Este análisis sólo muestra a grueso modo el potencial de mejoramiento de una operación en cuanto a sus costos operacionales, pero no da idea de donde se deben gestionar estos gastos y tampoco si estos están dentro de la fracción gestionable. Por lo tanto, sólo es aplicable para calcular la brecha existente entre la posición actual de la compañía y hasta donde podría llegar teniendo costos iguales al referente del mercado.

- **Comparación a nivel de proceso**

Para realizar esta comparación, primero es necesario llevar el costo asociado del proceso a una unidad de costo común y comparable, en el caso de la extracción mina: US\$/ton\*km\_eq. Luego, se deben comparar estos costos y calcular el costo referente que represente el P25 de la distribución. La brecha se calcula restando el costo comparable de cada operación con el costo comparable referente. La brecha calculada se valoriza en unidades monetarias (llevada a gasto), para luego, en función del nivel de producción, calcular el impacto en costo de c/lb. Este impacto será el potencial de mejoramiento de la competitividad de la operación llevando el proceso en análisis al óptimo según la realidad del mercado comparado. La metodología y resultados del ejemplo aplicado se muestran en la siguiente tabla.

		Operación 1	Operación 2	Operación 3
1	Costo mina comparable (US\$/ton_mov*km)	= (Gasto mina)/(Ton_mov * D_equiv)		
		0.31	0.29	0.45
2	Costo referente proceso mina(c/lb)	= percentil.exc(costo comparable, 0.25)		
		0.29		
3	Brecha (US\$/ton_mov*km)	= Costo comparable - menor costo comparable		
		0.02	0.00	0.16
4	Impacto en gasto mina (MUS\$)	= brecha * ton_mov*D_equiv		
		33	0	61
5	Impacto en costo (c/lb)	= impacto gasto mina * 100 / (producción * 2.20462)		
		5.8	0.0	7.4
6	Competitividad potencial (c/lb)	= C1 - impacto en costo (c/lb)		
		119.2	130.6	108.2
7	Impacto sobre el C1	= (Competitividad potencial - C1) / C1		
		-5%	0%	-6%

Tabla 11: Ejemplo de comparación nivel proceso



Graf. 75 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel proceso. Elaboración propia.

En el ejemplo se muestra que la operación 2 a pesar de tener la peor posición por C1, a nivel de costo mina comparable, presenta el menor costo por proceso mina y coincide con el P25 de la distribución de costos comparables, por lo cual, se elige como referente de gestión para el proceso de extracción mina. Si la operación 1 y 3 gestionaran el proceso de mina en forma equivalente a la operación 2 (en cuanto a costo), podrían mejorar aún más su posición competitiva respecto al C1. En el caso de la operación 3, implicaría ahorrar MUS\$ 61 en el gasto anual de la mina, lo que implicaría reducir su nivel de gasto en un 6%. Este análisis no muestra si el ahorro calculado es factible o gestionable, sólo muestra la diferencia a nivel de proceso con el resto de las operaciones del mercado comparado, pero permite identificar en que proceso es necesario focalizar los recursos en busca de potenciales ahorros.

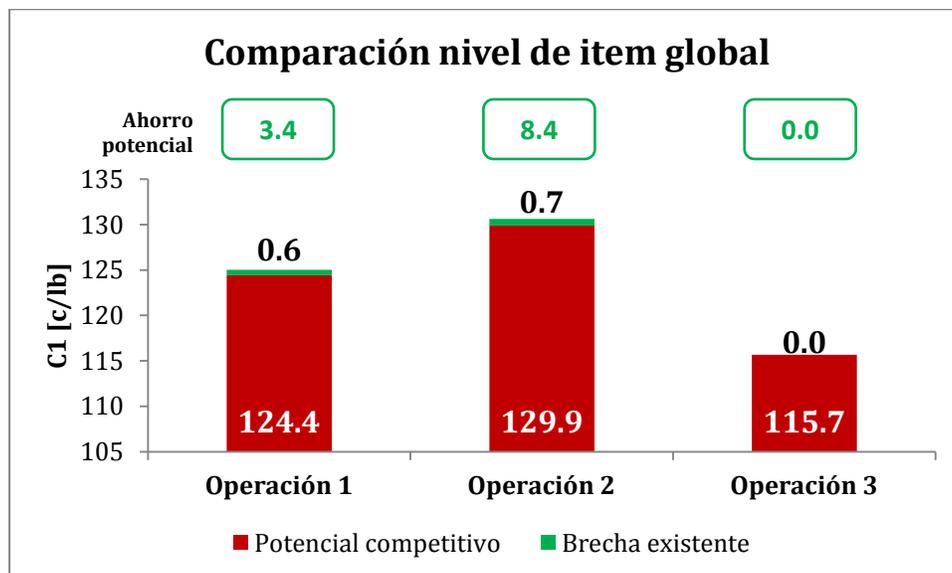
- **Comparación a nivel de ítem de gasto global**

Para la comparación a este nivel, es necesario calcular el referente del mercado como el costo comparable total (gestionable + no gestionable) que represente el primer cuartil del ítem de gasto evaluado. Como segundo paso, es necesario calcular la fracción gestionable del ítem de gasto (Ecuación 19). Este valor corresponde al límite del ahorro que se puede aplicar al proceso asociado al ítem evaluado (en este caso el diésel). Se calcula la brecha total como la diferencia entre el costo comparable del ítem de gasto respecto al costo referente. Esta brecha se compara con la fracción gestionable; si la brecha es menor a la fracción gestionable, se utilizará la brecha calculada como brecha aplicable, de lo contrario, se utilizará la fracción gestionable como brecha aplicable. En el caso que la brecha calculada sea negativa, se debe considerar como brecha aplicable cero (no hay ahorros potenciales por estar ya dentro del primer cuartil de costos). La brecha aplicable debe ser llevada a unidades monetarias de gasto para calcular su impacto en el costo C1 a través del nivel de producción de la compañía. El

resultado muestra el potencial de mejoramiento del C1 llevando el ítem de gasto al estándar del primer cuartil del mercado comparado.

		Operación 1	Operación 2	Operación 3
1	Costo diésel comparable (US\$/ton*km)	= (Gasto diésel)/(Ton_mov * D_equiv)		
		0.02	0.03	0.02
2	Costo diésel comparable gestionable (US\$/ton*km)	= Costo diésel comparable*(1-α2*β2)		
		0.02	0.02	0.02
3	Costo diésel comparable No gestionable (US\$/ton*km)	= Costo diésel comparable*α2*β2		
		0.01	0.00	0.00
4	Costo referente del ítem de gasto (US\$/ton*km)	= percentil.exc(costo comparable, 0.25)		
		0.02		
5	Brecha (US\$/ton*km)	= Costo diésel comparable - costo diésel comparable referente		
		0.003	0.004	0.000
6	Brecha aplicable (US\$/ton*km)	=si(costo diésel comp. gest.>=brecha, brecha, costo diésel comp.gest)		
		0.003	0.004	0.000
7	Impacto en gasto mina (MUS\$)	= brecha * ton_mov*D_equiv		
		3.4	8.4	0.0
8	Impacto en costo (c/lb)	= impacto gasto mina * 100 / (producción * 2.20462)		
		0.6	0.7	0.0
9	Competitividad potencial (c/lb)	= C1 - impacto en costo (c/lb)		
		124.4	129.9	115.7
10	Impacto sobre el C1	= (Competitividad potencial - C1) / C1		
		-0.5%	-0.6%	0.0%

Tabla 12: Ejemplo de comparación nivel de gasto por proceso.



Graf. 76 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel ítem de gasto por proceso. Elaboración propia.

El ejemplo muestra que al gestionar las operaciones 1 y 2 para llevarlas al estándar del primer cuartil del mercado, en cuanto al costo comparable del diésel, éstas podrían mejorar su C1 en un 0,5% y 0,6% respectivamente.

- **Comparación a nivel de ítem de gasto**

La comparación a este nivel se separa en dos partes, una comparación por precio y la otra comparación por cantidad.

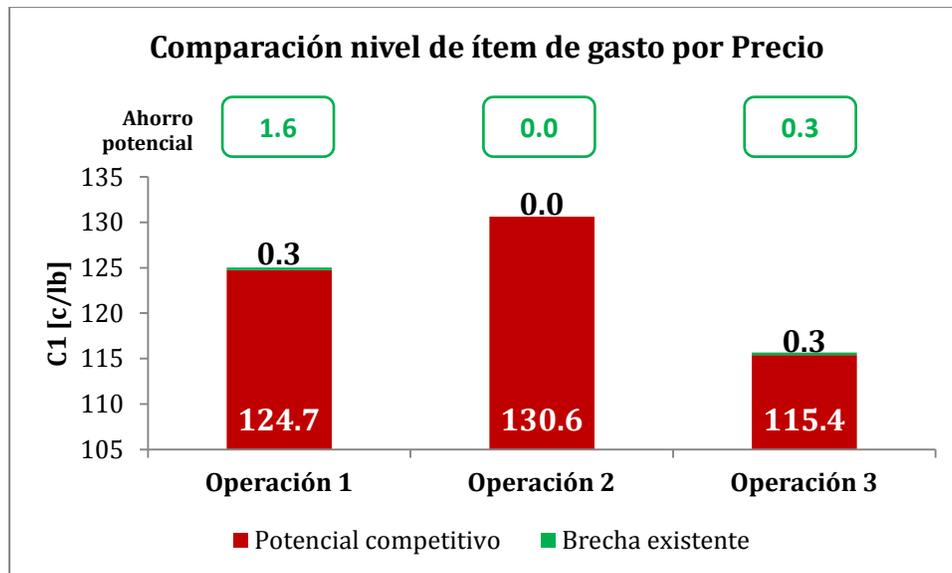
La comparación por precio debe ser realizada utilizando la tarifa unitaria del ítem de gasto. La tarifa debe ser desglosada en su fracción gestionable y la no gestionable. La fracción gestionable entrega el máximo ahorro que puede tener la operación en cuanto al precio unitario del ítem analizado. El precio referente será el que represente el P25 de las tarifas del mercado comparado. La brecha es calculada como la diferencia entre la tarifa de la operación y la tarifa referente. Si la brecha calculada es menor a la fracción gestionable de la tarifa, se usará la brecha calculada como brecha aplicable. En caso contrario, la fracción gestionable será utilizada como brecha aplicable. La brecha aplicable deberá ser llevada a unidades monetarias de gasto, multiplicando el delta de tarifa con la cantidad utilizada del ítem, para luego, a través de la producción, calcular el impacto sobre el costo C1.

Para la comparación por cantidad, es necesario calcular la cantidad por unidad comparable, esto permite llevar a todas las operaciones a una base común y comparar el uso de los recursos. El referente será aquel rendimiento que represente el P25 del uso de los recursos del mercado comparado. Luego, es necesario calcular la fracción gestionable y no gestionable de la cantidad utilizada. La fracción gestionable entrega el máximo ahorro que puede tener la operación en cuanto a la cantidad unitaria del ítem analizado. La brecha es calculada como la diferencia entre la cantidad utilizada en la operación y la cantidad unitaria referente. Si la brecha calculada es menor a la fracción gestionable de la cantidad, se usará la brecha calculada como brecha aplicable. En caso contrario, la fracción gestionable será utilizada como brecha aplicable. La brecha aplicable deberá ser llevada a unidades monetarias de gasto multiplicando el delta de cantidad con la tarifa unitaria del ítem, para luego, a través de la producción, calcular el impacto sobre el costo C1.

Las siguientes tablas muestran cómo se debe realizar el cálculo para cada efecto y los resultados obtenidos de los datos utilizados como ejemplo.

		Operación 1	Operación 2	Operación 3
1	Precio total Diésel (c/l)	Tarifa por unidad de consumo		
		32.0	30.4	34.9
2	Precio gestionable diésel (c/l)	$\alpha 1 * P$		
		22.4	24.3	29.7
3	Precio no gestionable diésel (c/l)	$\alpha 2 * P$		
		9.6	6.1	5.2
4	Precio referente del mercado	= min(precio total diésel)		
		30.42		
5	Brecha por precio (c/l)	= precio total diésel - min(precio total diésel)		
		1.6	0.0	4.5
6	Brecha aplicable por precio (c/l)	= si(brecha por precio <= precio gest. diésel, brecha por precio, precio gest. diésel)		
		1.6	0.0	4.5
7	Impacto en gasto diésel por brecha aplicable (MUS\$)	= brecha_aplicable * Cantidad_total		
		1.6	0.0	2.3
8	Impacto en costo (c/lb)	= impacto gasto diésel por brecha aplicable * 100 / (producción * 2.20462)		
		0.3	0.0	0.3
9	Competitividad potencial (c/lb)	= C1 - impacto en costo (c/lb)		
		124.7	130.6	115.4
10	Impacto sobre el C1	= (Competitividad potencial - C1) / C1		
		-0.2%	0.0%	-0.2%

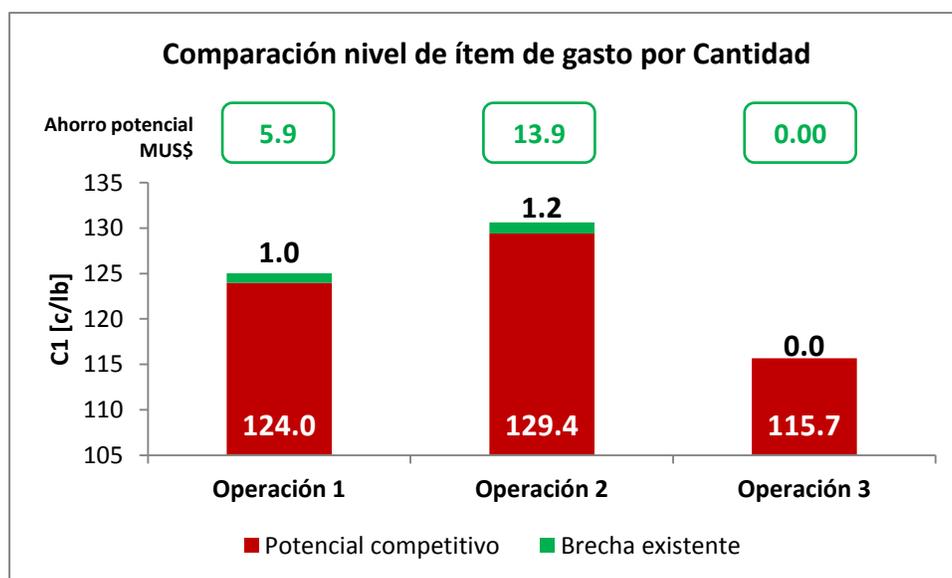
Tabla 13: Ejemplo de comparación nivel ítem de gasto – análisis por precio



Graf. 77 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel ítem de gasto por precio. Elaboración propia.

		Operación 1	Operación 2	Operación 3
1	Cantidad total Diésel (kl)	Cantidad total consumida		
		101509	182427	50589
2	Cantidad total Diésel comparable (l /ton*km))	= (Cantidad total)/(Ton_mov * D_equiv)		
		0.07	0.08	0.06
3	Cantidad gestionable diésel (l/ton*km)	$\beta_1 * Q$		
		0.01	0.02	0.02
4	Cantidad gestionable no diésel (l/ton*km)	$\beta_2 * Q$		
		0.06	0.06	0.04
5	Cantidad referente del mercado	= min(cantidad total diésel)		
		0.06		
6	Brecha por cantidad (l/ton*km)	= precio total diésel - min(precio total diésel)		
		0.01	0.02	0.00
7	Brecha aplicable por precio (l/ton*km)	= si(brecha por cant.<= cant. gest. diésel, brecha por cant., cant. gest. diésel)		
		0.01	0.02	0.00
8	Impacto en gasto diésel por brecha aplicable (MUS\$)	= brecha_aplicable*Precio_total *ton_mov*D_equiv		
		5.9	13.9	0.0
9	Impacto en costo (c/lb)	= impacto gasto diésel por brecha aplicable* 100 / (producción * 2.20462)		
		1.0	1.2	0.0
10	Competitividad potencial (c/lb)	= C1 - impacto en costo (c/lb)		
		124.0	129.4	115.7
11	Impacto sobre el C1	= (Competitividad potencial - C1) / C1		
		-0.8%	-0.9%	0.0%

Tabla 14: Ejemplo de comparación nivel ítem de gasto – análisis por cantidad

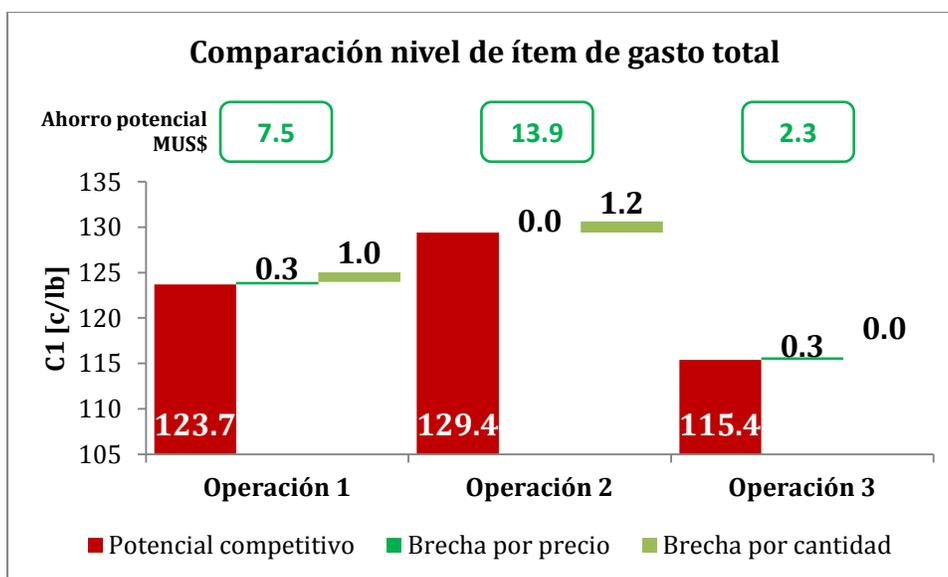


Graf. 78 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel ítem de gasto por cantidad. Elaboración propia.

Sumando los efectos es posible calcular el impacto total de gestionar tanto la tarifa como la cantidad utilizada y llevarlos al mejor estándar del primer cuartil del mercado comparado. En el ejemplo los resultados son los siguientes.

		Operación 1	Operación 2	Operación 3
1	Impacto en costo por precio (c/lb)	0.3	0.0	0.3
2	Impacto en costo por cantidad (c/lb)	1.0	1.2	0.0
3	Competitividad potencial total (c/lb)	C1 - impacto por precio - impacto por cantidad		
		123.7	129.4	115.4
4	Impacto sobre el C1	= (Competitividad potencial - C1) / C1		
		-1.0%	-0.9%	-0.2%
5	Valorización ahorro (MUS\$)	Ahorro por precio + ahorro por cantidad		
		7.5	13.9	2.3

Tabla 15: Ejemplo de comparación nivel ítem de gasto – análisis total



Graf. 79 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel ítem de gasto total. Elaboración propia.

El gráfico anterior muestra separado el efecto de la brecha por precio y cantidad. Por ejemplo, para la operación 1, indica que el efecto por rebajar la tarifa del diésel (a la tarifa del primer cuartil) implica un ahorro de 0.3 c/lb en el C1; el impacto por mejorar el rendimiento o uso del combustible, impacta en 1.0 c/lb. En total, el ahorro potencial asociado al combustible es de 1.3 c/lb (7.5 MUS\$), lo cual llevaría a la operación 1 a un C1 de 123.7 c/lb.

#### 4. Aplicación de la metodología

La aplicación completa de la metodología se realizará para estimar el potencial competitivo de las operaciones pertenecientes al grupo Antofagasta Minerals. Para esto, se tomará como mercado referente las 34 operaciones productoras de cobre de Chile, a lo largo de todo el país (ver Tabla 16). Además, se usará como set de datos válidos, la presentada por la consultora Wood Mackenzie para el segundo trimestre del 2016. Para el cálculo de los costos se usará el proyectado para la consultora para el año 2016. Se proyectarán los cuartiles de la producción mundial para los próximos 5 años según lo mostrado en el Graf. 3, con el fin de ver la evolución de la competitividad en el tiempo. Por motivos de confidencialidad, las compañías estarán codificadas y no se hará referencia alguna a su nombre.

Región	Operación	Región	Operación	Región	Operación	Región	Operación
I	Cerro Colorado	II	Antucoya	III	Candelaria	IV, V, VI y RM	Andacollo
	Collahuasi		Centinela_ox		Manto Verde		Andina
	La Cascada		Centinela_sulf		Ojos del salado		El soldado
	Quebrada Blanca		Chuquicamata		Punta del cobre		El Teniente
El Abra			Salvador		Los Bronces		
Escondida			El Bonce	Los Pelambres			
	Franke			Tres Valles			
	Gaby						
	Lomas Bayas						
	Mantos Blancos						
	Mantos de la luna						
	Ministro Hales						
	Radomiro Tomic						
	RT phill mill						
	Sierra Gorda						
	Spence						
	Zaldívar						

Tabla 16: Operaciones consideradas en el análisis de competitividad

- **Estimación de los  $\alpha$  y  $\beta$**

Para la aplicación de la metodología, tomando en cuenta la data disponible y el uso que se le dará a los resultados, se escogerá el segundo método de estimación para estos parámetros, es decir, se calculará el potencial competitivo considerando las correlaciones del mercado y las variables endógenas para el cálculo de la fracción gestionable y no gestionable de los ítems de gasto. Considerando los resultados del análisis del capítulo V.2, es posible resumir el resultado de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  como muestran las siguientes tablas

Operación	Mano de obra											
	Tarifa		Cantidad									
			Mina		Milling		Leaching		SX-EW		G&A	
$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	
M01	0.14	0.86	0.81	0.19	0.21	0.79	1.00	0.00	1.00	0.00	0.81	0.19
M02	0.35	0.65	0.82	0.18	0.66	0.34	1.00	0.00	1.00	0.00	0.89	0.11
M03	0.04	0.96	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M04	0.25	0.75	0.73	0.27	0.27	0.73	1.00	0.00	1.00	0.00	0.47	0.53
M05	0.52	0.48	0.93	0.07	1.00	0.00	0.89	0.11	0.62	0.38	0.80	0.20
M06	0.49	0.51	0.66	0.34	0.33	0.67	1.00	0.00	1.00	0.00	0.77	0.23
M07	0.46	0.54	0.71	0.29	1.00	0.00	0.95	0.05	0.90	0.10	0.93	0.07
M08	0.39	0.61	0.84	0.16	0.43	0.57	0.65	0.35	0.87	0.13	0.66	0.34
M09	0.29	0.71	0.66	0.34	0.30	0.70	0.91	0.09	0.86	0.14	0.75	0.25
M10	0.00	1.00	0.77	0.23	1.00	0.00	0.89	0.11	0.91	0.09	0.76	0.24
M11	0.25	0.75	0.87	0.13	0.54	0.46	1.00	0.00	1.00	0.00	0.18	0.82
M12	0.19	0.81	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M13	0.13	0.87	0.72	0.28	0.00	1.00	0.95	0.05	0.48	0.52	0.67	0.33
M14	0.29	0.71	0.83	0.17	1.00	0.00	0.96	0.04	0.87	0.13	0.73	0.27
M15	0.31	0.69	0.37	0.63	1.00	0.00	0.79	0.21	0.85	0.15	0.78	0.22
M16	0.30	0.70	0.00	1.00	1.00	0.00	0.90	0.10	0.87	0.13	0.86	0.14
M17	0.38	0.62	0.00	1.00	1.00	0.00	0.89	0.11	0.71	0.29	0.02	0.98
M18	0.08	0.92	0.82	0.18	0.27	0.73	0.15	0.85	0.88	0.12	0.24	0.76
M19	0.29	0.71	0.78	0.22	0.40	0.60	1.00	0.00	1.00	0.00	0.81	0.19
M20	0.44	0.56	0.84	0.16	1.00	0.00	0.93	0.07	0.86	0.14	0.80	0.20
M21	0.41	0.59	0.93	0.07	0.75	0.25	0.95	0.05	0.76	0.24	0.41	0.59
M22	0.32	0.68	1.00	0.00	1.00	0.00	0.95	0.05	0.89	0.11	0.67	0.33
M23	0.35	0.65	0.88	0.12	0.68	0.32	1.00	0.00	1.00	0.00	0.61	0.39
M24	0.33	0.67	1.00	0.00	0.10	0.90	1.00	0.00	1.00	0.00	0.76	0.24
M25	0.17	0.83	0.76	0.24	0.72	0.28	0.96	0.04	0.93	0.07	0.39	0.61
M26	0.29	0.71	0.84	0.16	1.00	0.00	0.89	0.11	0.57	0.43	0.87	0.13
M27	0.31	0.69	0.61	0.39	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
M28	0.37	0.63	0.79	0.21	0.52	0.48	1.00	0.00	1.00	0.00	0.65	0.35
M29	0.50	0.50	0.57	0.43	0.31	0.69	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M30	0.38	0.62	0.54	0.46	0.17	0.83	1.00	0.00	1.00	0.00	0.20	0.80
M31	0.45	0.55	0.88	0.12	1.00	0.00	0.96	0.04	0.85	0.15	0.70	0.30
M32	0.08	0.92	0.93	0.07	1.00	0.00	0.97	0.03	0.97	0.03	0.81	0.19
M33	0.36	0.64	0.59	0.41	1.00	0.00	0.93	0.07	0.85	0.15	0.85	0.15
M34	0.21	0.79	1.00	0.00	0.80	0.20	1.00	0.00	1.00	0.00	0.95	0.05

Tabla 17: Parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , para la mano de obra. Elaboración propia.

Operación	Combustible											
	Tarifa		Cantidad									
			Mina		Milling		Leaching		SX-EW		G&A	
$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	
M01	0.32	0.68	0.00	1.00	0.95	0.05	1.00	0.00	1.00	0.00	0.80	0.20
M02	0.38	0.62	0.00	1.00	0.88	0.12	1.00	0.00	1.00	0.00	0.95	0.05
M03	0.34	0.66	1.00	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01	1.00	0.00	0.90	0.10
M04	0.29	0.71	0.48	0.52	0.95	0.05	1.00	0.00	1.00	0.00	0.93	0.07
M05	0.33	0.67	0.00	1.00	1.00	0.00	0.90	0.10	1.00	0.00	0.90	0.10
M06	0.46	0.54	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.60	0.40
M07	0.32	0.68	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.97	0.03
M08	0.33	0.67	0.18	0.82	0.58	0.42	0.80	0.20	1.00	0.00	0.97	0.03
M09	0.32	0.68	0.26	0.74	0.84	0.16	0.00	1.00	1.00	0.00	0.93	0.07
M10	0.30	0.70	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.96	0.04
M11	0.26	0.74	0.00	1.00	0.95	0.05	1.00	0.00	1.00	0.00	0.98	0.02
M12	0.36	0.64	1.00	0.00	0.71	0.29	1.00	0.00	1.00	0.00	0.97	0.03
M13	0.36	0.64	0.20	0.80	0.90	0.10	1.00	0.00	1.00	0.00	0.96	0.04
M14	0.38	0.62	0.00	1.00	1.00	0.00	0.87	0.13	1.00	0.00	0.79	0.21
M15	0.35	0.65	0.00	1.00	1.00	0.00	0.80	0.20	1.00	0.00	0.97	0.03
M16	0.31	0.69	0.00	1.00	1.00	0.00	0.55	0.45	1.00	0.00	0.00	1.00
M17	0.34	0.66	0.00	1.00	1.00	0.00	0.97	0.03	1.00	0.00	0.97	0.03
M18	0.39	0.61	0.00	1.00	0.99	0.01	1.00	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01
M19	0.41	0.59	0.00	1.00	0.87	0.13	1.00	0.00	1.00	0.00	0.78	0.22
M20	0.36	0.64	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
M21	0.57	0.43	0.00	1.00	0.87	0.13	0.80	0.20	1.00	0.00	0.93	0.07
M22	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.96	0.04	1.00	0.00	0.94	0.06
M23	0.30	0.70	0.00	1.00	0.72	0.28	1.00	0.00	1.00	0.00	0.96	0.04
M24	0.28	0.72	1.00	0.00	0.92	0.08	1.00	0.00	1.00	0.00	0.96	0.04
M25	0.64	0.36	0.00	1.00	0.67	0.33	0.98	0.02	1.00	0.00	0.96	0.04
M26	0.36	0.64	0.09	0.91	1.00	0.00	0.99	0.01	1.00	0.00	0.98	0.02
M27	0.33	0.67	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.98	0.02
M28	0.33	0.67	0.00	1.00	0.54	0.46	1.00	0.00	1.00	0.00	0.80	0.20
M29	0.36	0.64	0.00	1.00	0.55	0.45	1.00	0.00	1.00	0.00	0.95	0.05
M30	0.32	0.68	0.00	1.00	0.98	0.03	1.00	0.00	1.00	0.00	0.90	0.10
M31	0.33	0.67	0.00	1.00	1.00	0.00	0.99	0.01	1.00	0.00	0.93	0.07
M32	0.37	0.63	0.00	1.00	1.00	0.00	0.99	0.01	1.00	0.00	0.95	0.05
M33	0.35	0.65	0.00	1.00	1.00	0.00	0.98	0.02	1.00	0.00	0.92	0.08
M34	0.22	0.78	1.00	0.00	0.79	0.21	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00

Tabla 18: Parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , para el combustible. Elaboración propia.

Operación	Energía Eléctrica											
	Tarifa		Cantidad									
			Mina		Milling		Leaching		SX-EW		G&A	
$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	
M01	0.20	0.80	0.98	0.02	0.40	0.60	1.00	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01
M02	0.41	0.59	0.98	0.02	0.36	0.64	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M03	0.30	0.70	0.99	0.01	1.00	0.00	0.90	0.10	0.36	0.64	0.90	0.10
M04	0.32	0.68	0.99	0.01	0.53	0.47	1.00	0.00	1.00	0.00	0.95	0.05
M05	0.40	0.60	0.94	0.06	1.00	0.00	0.97	0.03	0.33	0.67	0.99	0.01
M06	0.30	0.70	0.99	0.01	0.51	0.49	1.00	0.00	1.00	0.00	0.87	0.13
M07	0.33	0.67	0.92	0.08	1.00	0.00	0.96	0.04	0.39	0.61	0.94	0.06
M08	0.42	0.58	0.99	0.01	0.00	1.00	0.82	0.18	0.36	0.64	0.99	0.01
M09	0.41	0.59	0.99	0.01	0.42	0.58	0.96	0.04	0.35	0.65	1.00	0.00
M10	0.56	0.44	0.97	0.03	1.00	0.00	0.98	0.02	0.29	0.71	0.97	0.03
M11	0.12	0.88	0.00	1.00	0.62	0.38	1.00	0.00	1.00	0.00	0.94	0.06
M12	0.41	0.59	0.99	0.01	0.45	0.55	0.00	1.00	0.37	0.63	0.94	0.06
M13	0.64	0.36	0.99	0.01	0.47	0.53	0.99	0.01	0.34	0.66	0.98	0.02
M14	0.59	0.41	0.99	0.01	1.00	0.00	0.98	0.02	0.00	1.00	0.87	0.13
M15	0.35	0.65	0.98	0.02	1.00	0.00	0.95	0.05	0.28	0.72	0.98	0.02
M16	0.25	0.75	0.99	0.01	1.00	0.00	0.99	0.01	0.36	0.64	0.97	0.03
M17	0.25	0.75	0.98	0.02	1.00	0.00	0.97	0.03	0.31	0.69	0.94	0.06
M18	0.31	0.69	0.98	0.02	0.05	0.95	0.88	0.12	0.12	0.88	0.99	0.01
M19	0.47	0.53	1.00	0.00	0.30	0.70	1.00	0.00	1.00	0.00	0.90	0.10
M20	0.51	0.49	0.99	0.01	1.00	0.00	0.96	0.04	0.40	0.60	0.91	0.09
M21	0.22	0.78	0.96	0.04	0.04	0.96	0.94	0.06	0.30	0.70	0.99	0.01
M22	0.49	0.51	1.00	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01	0.28	0.72	0.99	0.01
M23	0.32	0.68	0.99	0.01	0.36	0.64	1.00	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01
M24	0.26	0.74	1.00	0.00	0.26	0.74	1.00	0.00	1.00	0.00	0.95	0.05
M25	0.66	0.34	1.00	0.00	0.43	0.57	0.97	0.03	0.32	0.68	0.96	0.04
M26	0.18	0.82	0.99	0.01	1.00	0.00	0.96	0.04	0.37	0.63	0.99	0.01
M27	0.05	0.95	0.98	0.02	1.00	0.00	0.96	0.04	0.27	0.73	0.90	0.10
M28	0.00	1.00	0.98	0.02	0.08	0.92	1.00	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01
M29	0.39	0.61	0.99	0.01	0.22	0.78	1.00	0.00	1.00	0.00	0.36	0.64
M30	0.43	0.57	0.99	0.01	0.45	0.55	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M31	0.25	0.75	0.98	0.02	1.00	0.00	0.98	0.02	0.30	0.70	0.00	1.00
M32	0.26	0.74	1.00	0.00	1.00	0.00	0.98	0.02	0.35	0.65	0.99	0.01
M33	0.27	0.73	0.98	0.02	1.00	0.00	0.98	0.02	0.44	0.56	0.99	0.01
M34	0.52	0.48	1.00	0.00	0.57	0.43	1.00	0.00	1.00	0.00	0.99	0.01

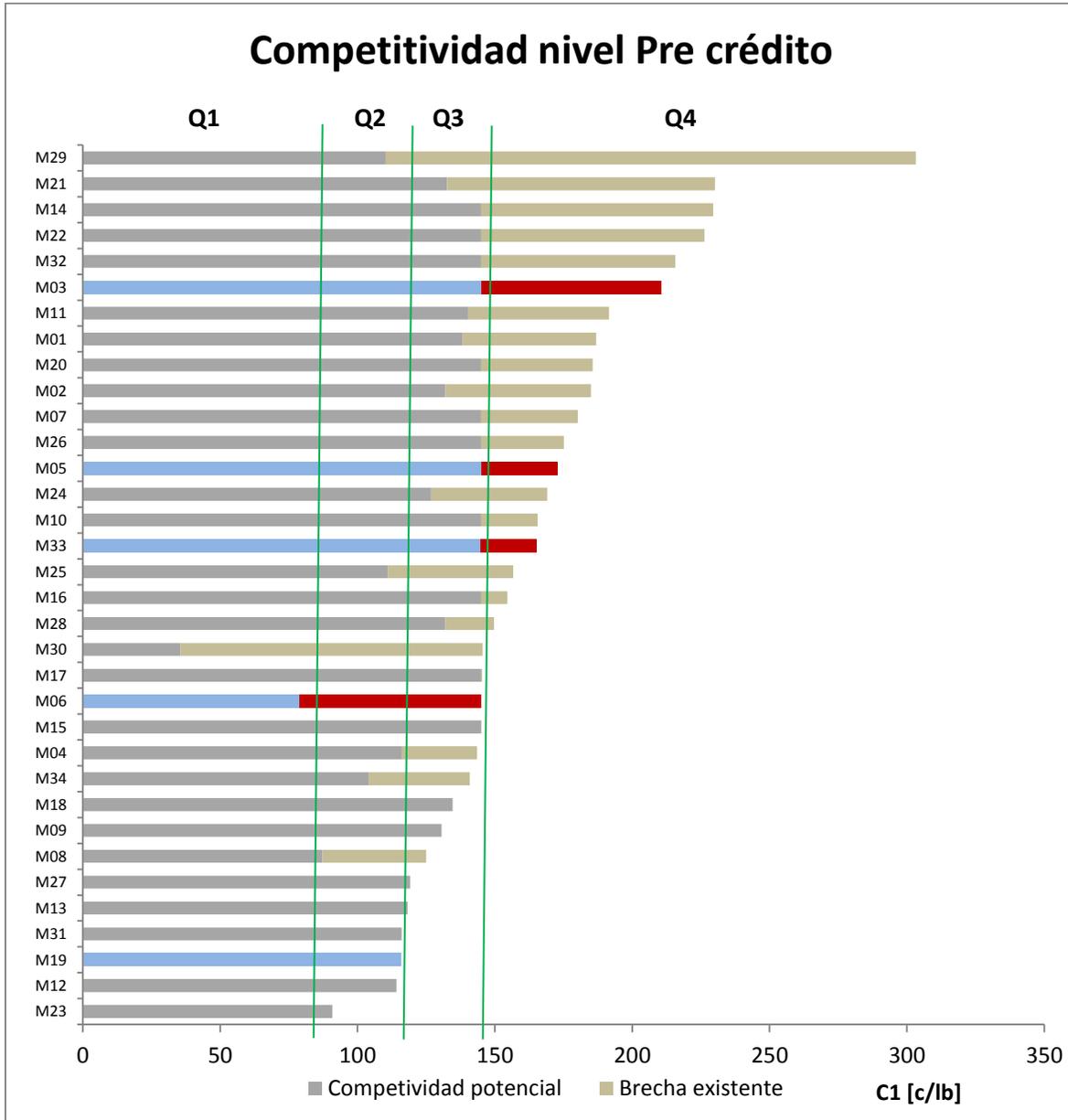
Tabla 19: Parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , para energía eléctrica. Elaboración propia.

Operación	Ácido				Servicios										Otros insumos									
	Tarifa		Cantidad		Mina		Milling		Leaching		SX-EW		G&A		Mina		Milling		Leaching		SX-EW		G&A	
	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 1$	$\alpha 2$								
M01	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M02	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M03	0.78	0.22	0.84	0.16	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M04	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M05	0.75	0.25	0.46	0.54	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M06	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M07	0.76	0.24	0.71	0.29	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M08	0.00	1.00	0.93	0.07	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M09	0.85	0.15	0.71	0.29	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M10	0.75	0.25	0.29	0.71	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M11	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M12	0.52	0.48	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M13	0.56	0.44	0.51	0.49	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M14	0.68	0.32	0.93	0.07	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M15	0.00	1.00	0.94	0.06	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M16	0.80	0.20	0.11	0.89	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M17	0.42	0.58	0.66	0.34	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M18	0.45	0.55	0.48	0.52	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M19	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M20	0.68	0.32	0.59	0.41	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M21	0.61	0.39	0.97	0.03	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M22	0.70	0.30	0.72	0.28	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M23	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M24	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M25	0.59	0.41	0.69	0.31	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M26	0.78	0.22	0.83	0.17	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M27	0.22	0.78	0.88	0.12	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M28	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M29	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M30	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M31	0.72	0.28	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M32	0.56	0.44	0.90	0.10	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M33	0.77	0.23	0.50	0.50	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
M34	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00

Tabla 20: Parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , para: ácido, servicios y otros insumos. Elaboración propia.

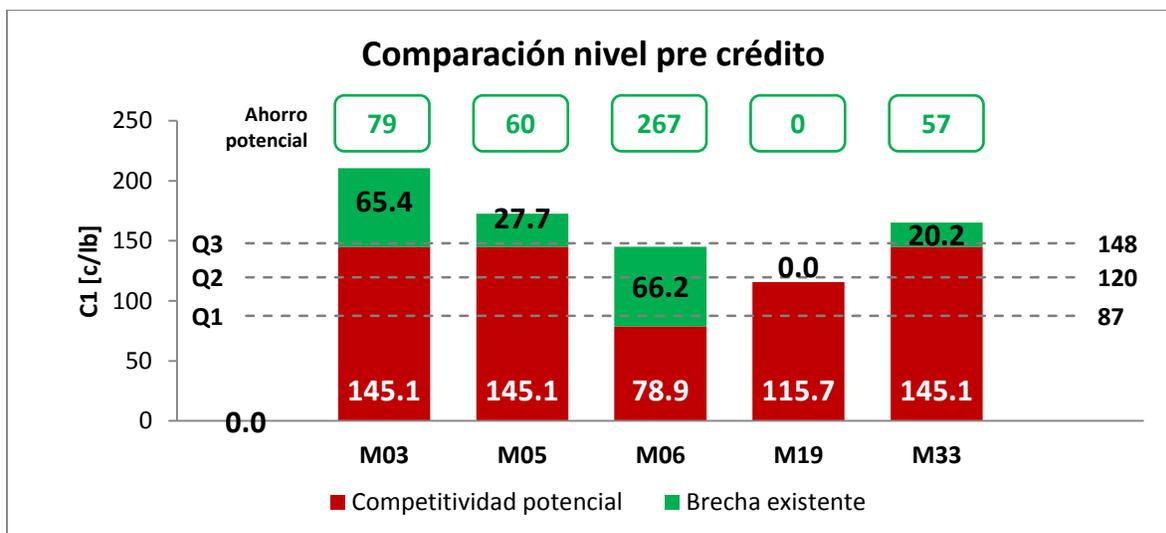
- **Comparación a nivel de precréditos**

Realizando los pasos expuestos en la metodología es posible calcular el potencial competitivo para las 34 operaciones del país a nivel de costo pre crédito.



Graf. 80 Competitividad potencial a nivel pre credito para la industria nacional del cobre. Elaboración propia.

Las operaciones destacadas en un color diferentes son aquellas pertenecientes al grupo Antofagasta Minerals (AMSA). De la gráfica se desprende que el grupo tiene 1 operación en segundo cuartil (Q2), una en el tercer cuartil (Q3) y el resto en el cuarto cuartil (Q4). Al calcular la competitividad potencial en el grupo, y de lograrse los ahorros planteados, la situación para el 2017 cambiaría a tener 1 operación en Q1, dos en el Q2, y dos operaciones en el Q3.



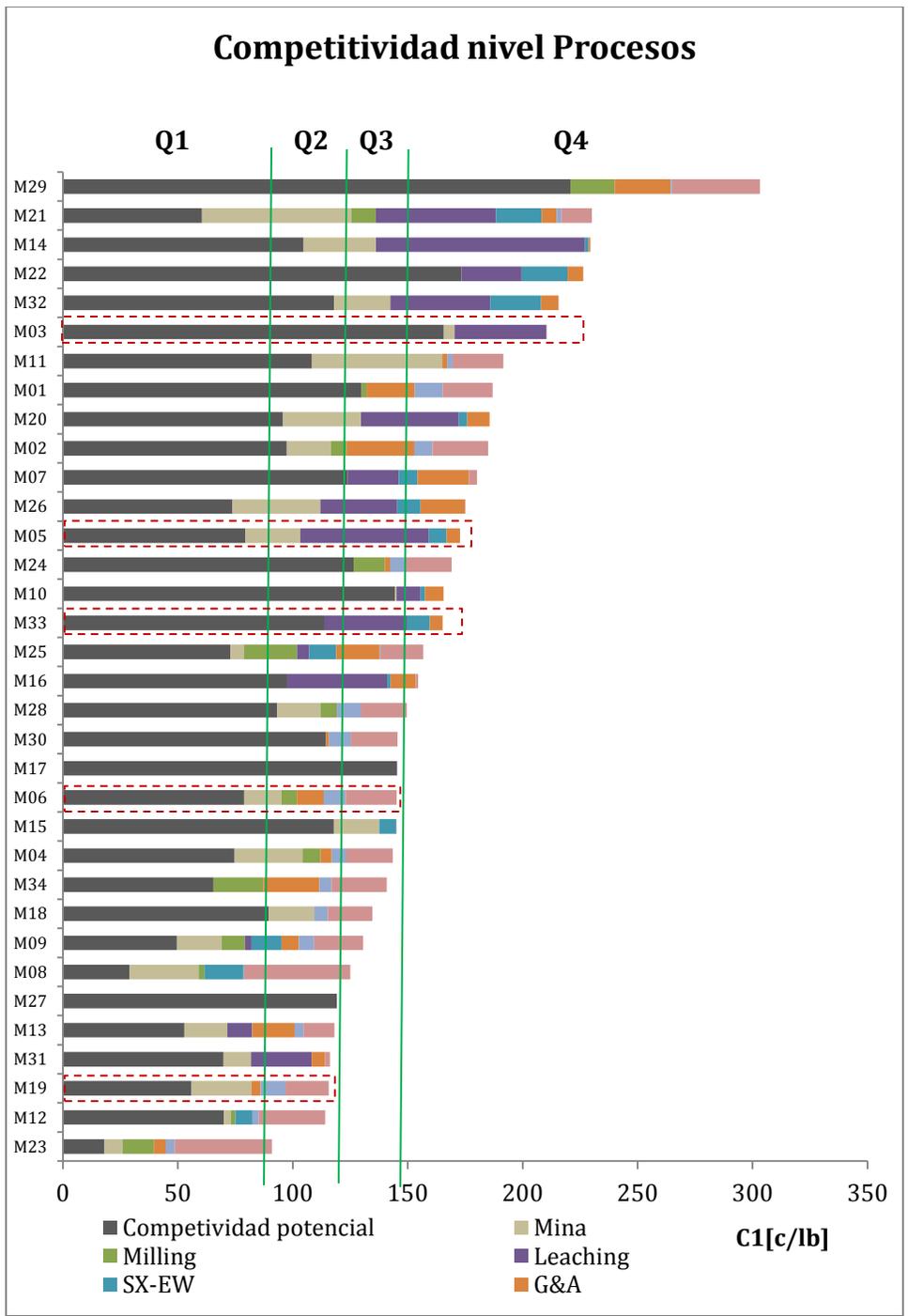
Graf. 81 Competitividad potencial operaciones AMSA nivel pre crédito. Elaboración propia.

Este nivel de análisis le da nula posibilidad de mejoramiento a la operación M19, por estar ya en el primer cuartil del mercado comparado.

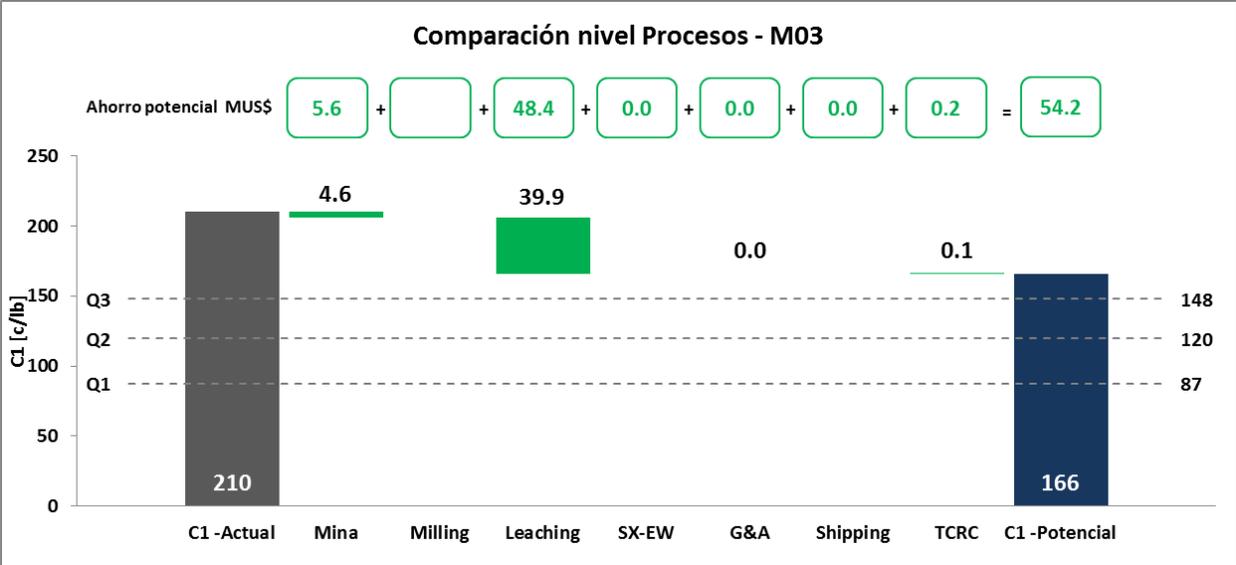
- **Comparación a nivel de procesos**

La comparación a nivel de procesos se realiza en forma separada para luego sumar los efectos y obtener el potencial competitivo completo, identificando la fracción a gestionar por cada uno de los procesos. El resultado de La metodología aplicada para el mercado de las 34 operaciones del país se muestra en la Graf. 82. Es importante notar que al gestionar distintos procesos, varias operaciones podrían llegar a estar en el primer cuartil de producción a nivel mundial (15 de 34 operaciones). Esta comparación resulta útil para dimensionar hasta donde podría llegar una operación gestionando todos sus procesos y evaluar qué proceso le es más beneficioso gestionar. Por ejemplo, la operación M21, hoy se encuentra en el cuarto cuartil de producción y presenta dos procesos con gran potencial de impacto sobre el C1, extracción mina y lixiviación. Llevando esos dos procesos al estándar del P25 del mercado nacional, mejoraría su posición en el mercado, pasando del Q4 al Q2 y su C1 se vería impactado en un 47 %.

Para el caso de las compañías del grupo AMSA (no fueron destacadas en el Graf. 82 por limpieza de formato), es posible realizar un análisis por compañía, en donde en forma de cascada se identifique el potencial de gestión de cada proceso, siendo posible focalizar los esfuerzos y saber cuánto implica el ahorro en unidades monetarias. El saber este monto permite colocar metas totales realistas a los procesos con el fin de activar las actividades de gestión (ver: Graf. 83, Graf. 84, Graf. 85, Graf. 86, Graf. 87)

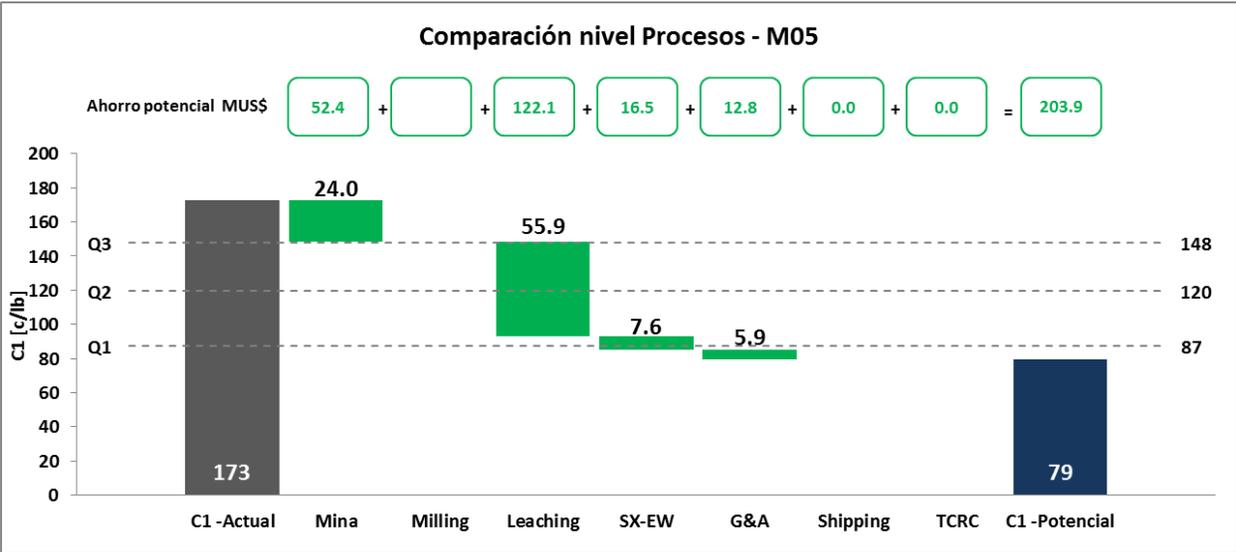


Graf. 82 Competitividad potencial a nivel procesos para la industria nacional del cobre.  
Elaboración propia.



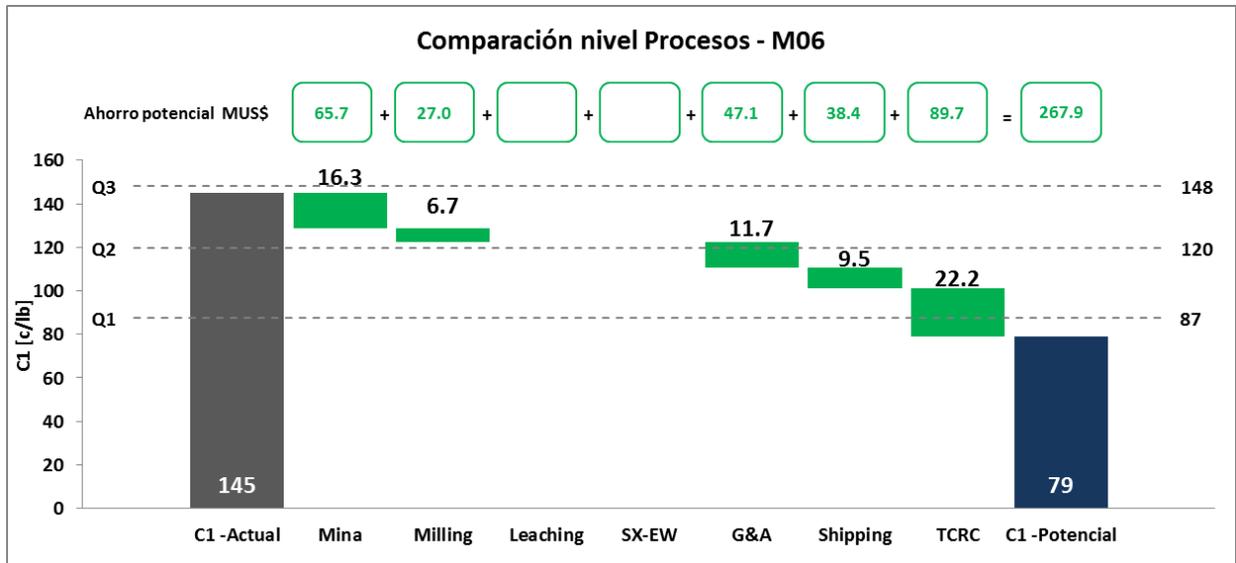
Graf. 83 Competitividad potencial a nivel procesos para Operación M03. Elaboración propia.

El resultado muestra que la operación M03 tiene potencial en los procesos de mina y lixiviación, siendo el segundo el que entrega más posibilidades de gestión. Aun así, la operación se mantendría en el cuarto cuartil.



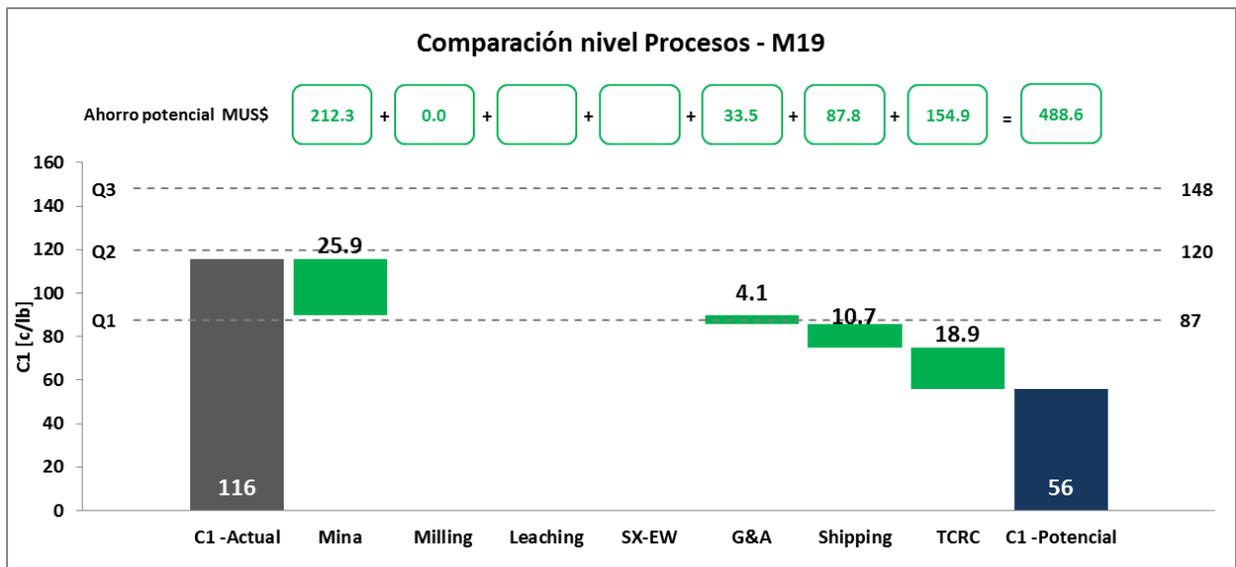
Graf. 84 Competitividad potencial a nivel de procesos para la Operación M05. Elaboración propia.

En el análisis a nivel de procesos, la operación M05, tiene un gran potencial de mejorar su competitividad gestionando ahorros en todos sus procesos operativos, principalmente, en mina y lixiviación. La operación de lograr todos los ahorros expuestos, pasaría de estar en el Q4 a estar en el primer cuartil.



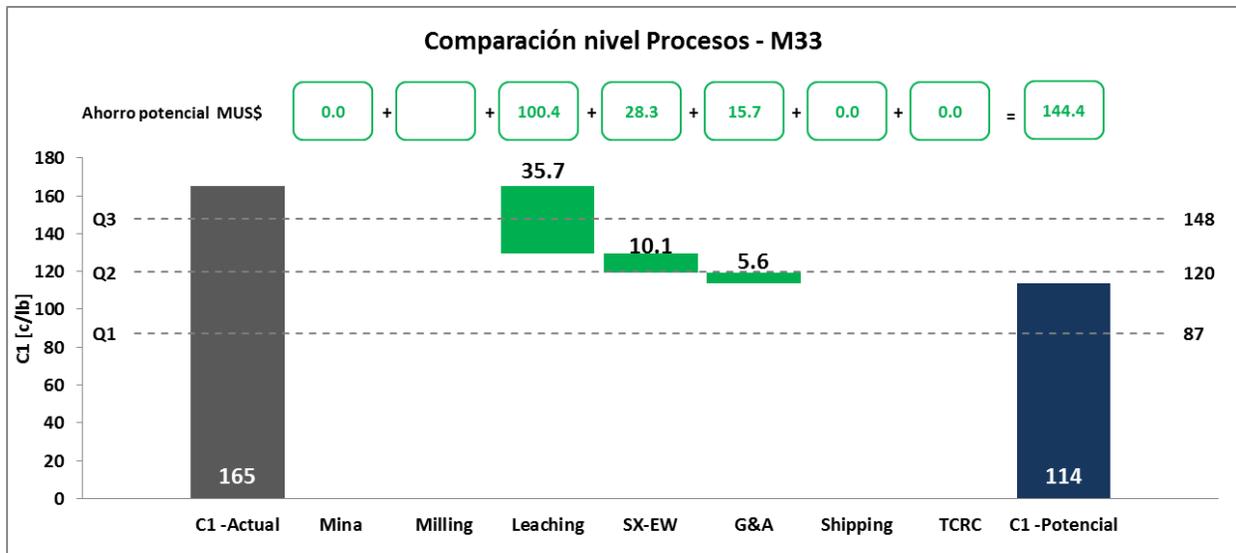
Graf. 85 Competitividad potencial a nivel de procesos para la Operación M06. Elaboración propia.

La operación M06 también tiene potencial de mejorar hasta llegar al primer cuartil gestionando ahorros en todos sus procesos productivos y mejorando las condiciones de los contratos de transporte, tratamiento y refinación de su producción.



Graf. 86 Competitividad potencial a nivel de procesos para la Operación M19. Elaboración propia.

La operación M19 muestra un potencial de mejoramiento que la llevaría a consolidarse en el primer cuartil. Las oportunidades están en la mina principalmente. En cuanto a la planta, el proceso ya se encuentra en el primer cuartil del mercado comparado.

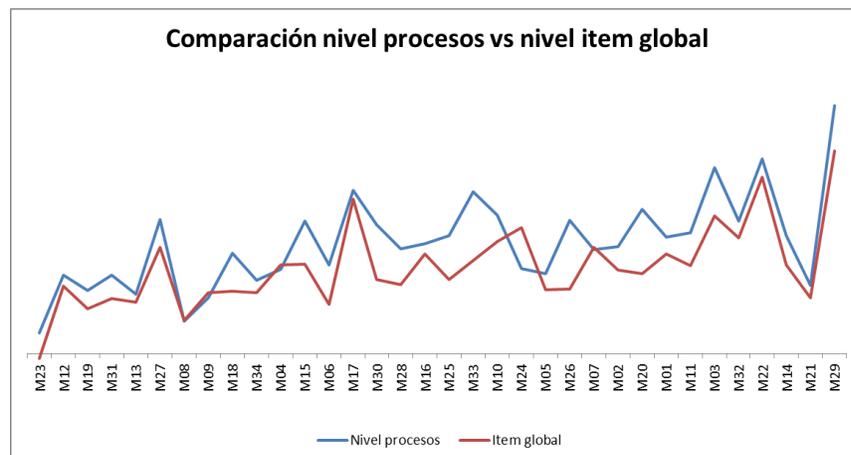


Graf. 87 Competitividad potencial a nivel de procesos para la Operación M33. Elaboración propia.

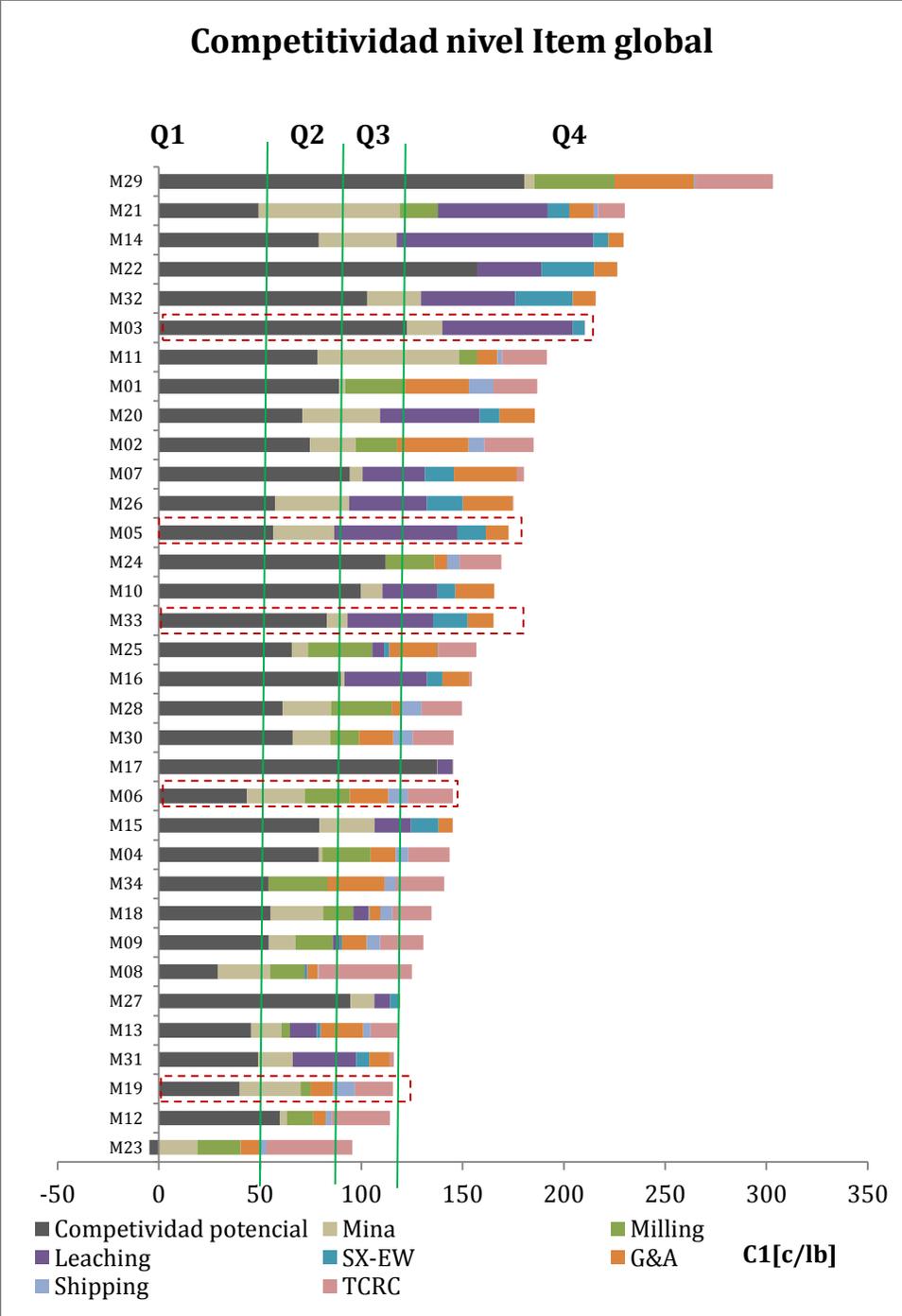
La operación M33 podría pasar de estar en Q4 al Q2 mejorando su desempeño en los procesos asociados al tratamiento del mineral, principalmente, en lo que a lixiviación respecta. En el caso de la mina, está dentro del referente del mercado comparado.

- **Comparación a nivel de ítem de gastos global**

La comparación a nivel de ítem de gasto global se realiza en forma separada para cada ítem de gasto en cada proceso. Luego, se suman los efectos para obtener el potencial competitivo completo. Si se comparan los resultados de la comparación por procesos, este nivel de comparación entrega mayores ahorros potenciales, en el general de los casos, identificando claramente el ítem a gestionar en cada proceso. El resultado de la metodología aplicada para el mercado de las 34 operaciones del país se muestra en la Graf. 89.



Graf. 88 Comparación resultados de comparación a nivel de proceso vs comparación a nivel ítem global. Elaboración propia.



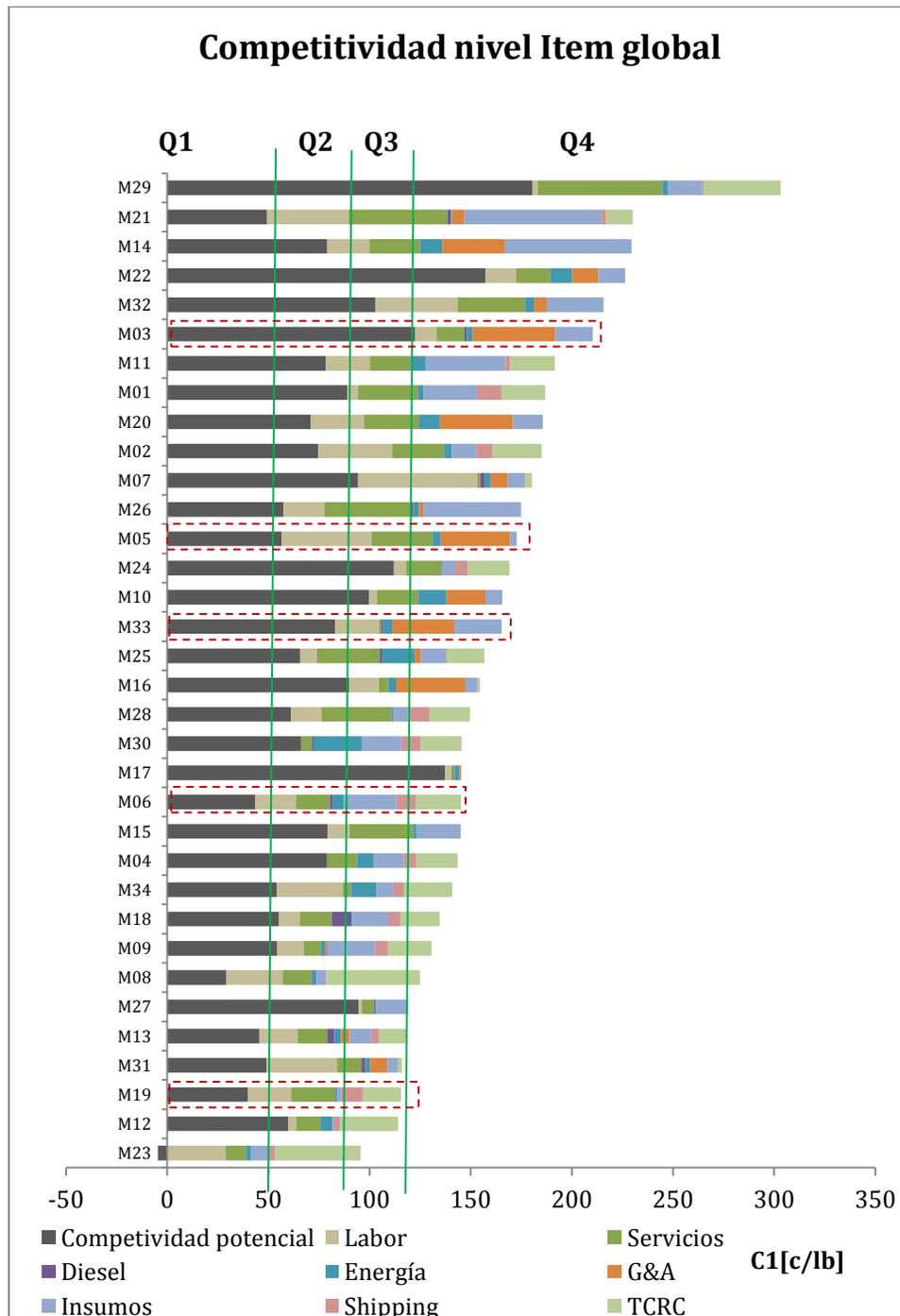
Graf. 89 Competitividad potencial a nivel item global consolidado por proceso para la industria nacional del cobre. Elaboración propia.

El gráfico anterior muestra el resultado total del mejoramiento potencial de la competitividad para todas las operaciones en Chile. El desglose del ahorro por ítem de gasto se muestra a continuación en la siguiente tabla.

C1 Cía	Actual	Mina						Milling						Leaching						SX-EW						G&A						Shipping	TCRC	C1 potencial
		Labor	Servicios	Diesel	Energía	Ácido	Insumos	Labor	Servicios	Diesel	Energía	Ácido	Insumos	Labor	Servicios	Diesel	Energía	Ácido	Insumos	Labor	Servicios	Diesel	Energía	Ácido	Insumos	Labor	Servicios	Diesel	Energía	Ácido	Insumos			
M01	186.9	3.0	-	0.0	0.1	-	-	-	11.6	0.2	1.6	-	16.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	17.9	-	0.9	-	10.2	12.1	21.7	88.9
M02	185.0	7.4	12.5	0.1	0.3	-	2.3	10.2	-	0.1	2.0	-	8.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.0	13.0	0.0	1.4	-	1.6	7.9	24.2	74.6	
M03	210.4	10.6	5.0	-	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3	1.3	-	40.9	15.8	0.0	2.4	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	122.6	
M04	143.5	-	0.1	-	0.2	-	1.5	-	7.5	0.2	7.7	-	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.2	0.0	0.1	-	5.0	6.2	20.4	79.1	
M05	172.7	30.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.6	24.7	0.0	1.5	30.8	0.2	-	5.3	-	2.1	3.3	3.1	10.9	-	0.0	0.5	-	0.0	-	56.6	
M06	145.1	7.8	8.2	1.5	0.6	-	10.4	3.7	7.7	-	4.9	-	5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.7	0.7	-	-	-	9.8	9.5	22.2	43.5	
M07	180.2	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.9	0.1	2.3	1.0	6.8	6.8	8.1	1.1	1.7	1.5	1.7	30.6	0.4	0.1	0.0	-	-	-	3.5	94.4	
M08	125.0	19.5	4.8	0.3	1.0	-	-	4.1	8.8	-	-	-	4.0	-	0.2	0.0	-	-	-	0.3	0.2	-	0.1	0.7	3.8	-	0.2	1.0	-	-	0.5	46.1	29.3	
M09	130.6	0.9	-	0.0	0.2	-	11.9	2.1	6.5	-	0.5	-	9.4	0.3	1.1	-	0.0	1.1	0.8	0.2	0.4	-	-	0.5	9.5	0.7	0.0	1.3	-	0.8	6.5	21.4	54.4	
M10	165.6	-	2.0	-	0.0	-	8.4	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	8.9	18.0	-	3.3	-	4.4	1.2	-	0.3	18.2	0.1	0.7	-	-	-	-	99.9	
M11	191.6	20.5	14.8	-	-	-	34.4	1.3	-	0.2	7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.8	0.2	-	-	5.0	2.3	22.1	78.5	
M12	114.1	0.1	2.3	0.0	0.0	-	0.8	3.9	3.5	-	5.6	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	6.0	0.1	0.0	-	-	2.8	28.9	59.9	
M13	118.2	7.8	3.4	0.3	0.5	-	2.9	0.7	-	0.0	1.2	-	2.4	3.0	0.5	3.1	1.4	4.1	1.4	-	0.3	-	0.0	0.1	1.5	7.4	10.5	0.1	0.2	-	2.7	3.8	13.5	45.5
M14	229.5	7.4	7.3	0.2	1.2	-	22.4	-	-	-	-	-	-	8.5	17.0	0.0	7.4	28.3	35.3	2.2	0.0	-	2.5	2.0	0.9	2.7	0.7	-	-	-	4.1	-	79.0	
M15	145.1	-	18.6	0.0	0.1	-	8.3	-	-	-	-	-	-	-	7.5	0.0	0.5	-	10.0	4.2	5.3	-	-	3.6	6.4	-	0.2	0.5	-	-	-	0.0	79.4	
M16	154.5	-	1.6	-	0.1	-	0.2	-	-	-	-	-	-	1.1	1.0	-	2.4	34.0	2.2	2.7	1.2	-	1.3	0.3	1.9	10.9	0.8	-	0.1	-	1.7	-	1.1	89.9
M17	145.4	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	1.1	0.2	2.2	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.0	-	0.1	-	-	-	137.3
M18	134.6	9.8	6.7	0.4	-	-	8.9	-	6.9	1.2	-	-	6.8	-	-	7.5	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	2.0	0.5	0.6	-	2.2	5.9	19.4	55.2	
M19	115.7	6.3	21.7	0.3	-	-	1.7	4.2	-	0.0	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.8	-	-	-	-	0.2	10.7	18.9	40.0	
M20	185.6	8.8	18.9	0.1	1.9	-	8.7	-	-	-	-	-	-	6.6	1.9	-	2.6	36.1	2.1	3.9	0.1	-	5.8	0.0	7.1	6.3	-	0.0	-	3.9	-	-	70.9	
M21	230.1	28.8	21.3	1.4	-	-	18.0	7.1	1.6	0.1	-	-	9.9	3.4	14.8	0.0	-	6.0	30.1	0.1	3.5	-	0.1	0.1	7.0	0.8	7.7	0.1	0.6	-	2.8	2.1	13.3	49.3
M22	226.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	0.0	5.9	12.5	6.4	5.0	10.1	-	3.7	0.4	6.8	3.5	6.8	0.0	1.0	-	0.1	-	-	157.2
M23	90.9	18.3	-	0.0	0.6	-	-	6.6	9.2	0.0	1.3	-	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.8	1.1	0.0	0.3	-	3.7	3.7	42.4	-4.6	
M24	169.1	-	-	-	-	-	-	-	17.2	0.2	-	-	6.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.1	0.0	0.0	0.0	-	0.2	6.2	20.6	112.1	
M25	156.7	0.8	5.4	1.0	0.4	-	0.4	4.8	6.9	0.1	13.6	-	6.3	1.5	0.4	0.0	0.7	3.1	0.2	1.2	-	1.3	0.0	-	0.0	18.1	0.1	0.2	-	5.4	0.4	18.5	65.7	
M26	175.1	5.2	12.5	0.0	1.0	-	17.8	-	-	-	-	-	-	1.7	12.2	0.8	0.4	2.2	21.1	-	11.1	-	0.4	0.0	6.5	13.4	7.0	0.6	1.0	-	2.8	-	0.3	57.3
M27	119.1	1.5	3.5	0.3	-	-	6.4	-	-	-	-	-	-	-	0.9	-	0.0	-	7.0	-	1.7	-	-	2.7	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	94.6
M28	149.6	6.6	9.8	0.1	0.2	-	7.1	6.0	24.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	0.8	-	0.4	-	0.4	10.5	19.9	61.1	
M29	303.2	-	4.8	0.1	0.2	-	-	2.6	20.9	0.0	2.3	-	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35.9	0.1	-	-	3.4	0.6	38.3	180.5	
M30	145.6	-	2.0	-	3.3	-	13.1	-	-	0.8	13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	-	7.4	-	6.4	9.4	20.4	66.1	
M31	116.1	13.5	-	0.0	0.2	-	3.2	-	-	-	-	-	-	9.9	8.6	1.9	2.0	8.3	0.7	5.0	1.1	-	0.3	-	6.4	2.4	0.0	-	-	1.3	-	2.1	49.1	
M32	215.7	9.4	14.5	0.1	1.3	-	1.4	-	-	-	-	-	-	8.8	13.9	0.0	1.6	5.9	16.3	17.2	2.0	-	1.2	7.9	5.4	2.8	0.1	0.3	-	2.7	-	0.1	102.9	
M33	165.2	-	-	0.0	0.0	-	10.0	-	-	-	-	-	-	6.9	-	0.7	2.7	28.9	3.0	3.7	-	1.4	1.7	10.3	11.1	1.1	0.0	0.5	-	-	-	-	-	83.1
M34	140.9	-	-	-	-	-	-	7.6	3.9	0.2	11.5	-	6.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.2	-	-	1.1	-	2.0	5.1	24.1	54.0	

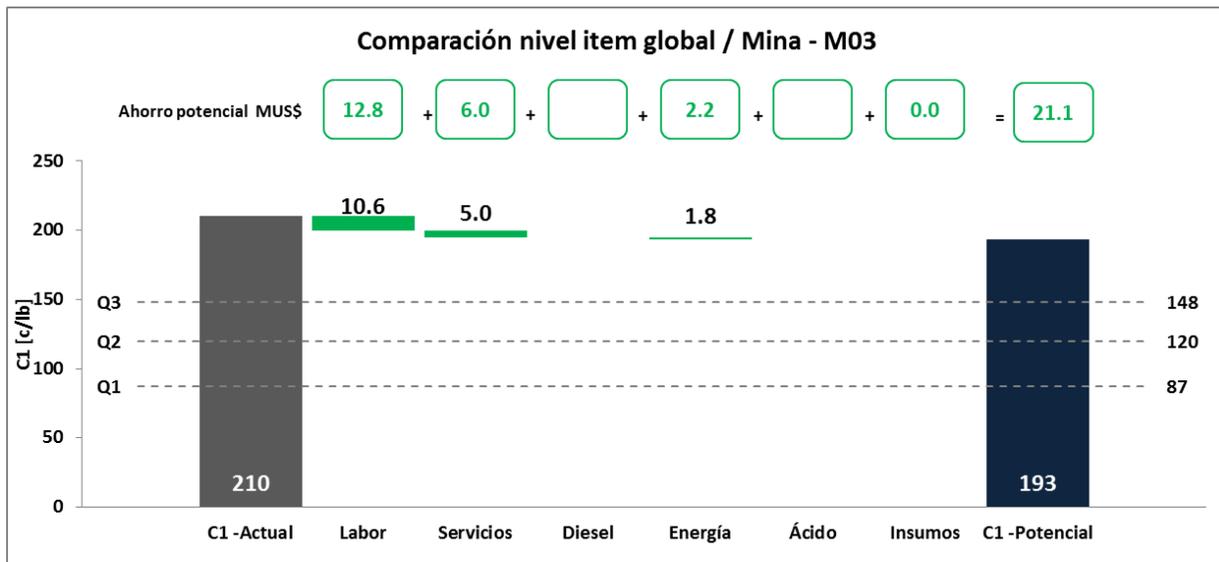
Tabla 21: Competitividad potencial a nivel item de gasto global desglosado. Elaboració propia.

La tabla anterior muestra por compañía donde se deben gatillar los ahorros para lograr la competitividad potencial, por ejemplo, en la compañía M20, cuyo actual C1 es de 185.0 c/lb. Podría llegar a un C1 de 70.3 c/lb gestionando, principalmente, los servicios en la mina, el gasto de ácido de la planta hidrometalúrgica en la planta concentradora, y el gasto de mano de obra asociado al G&A, entre otros.

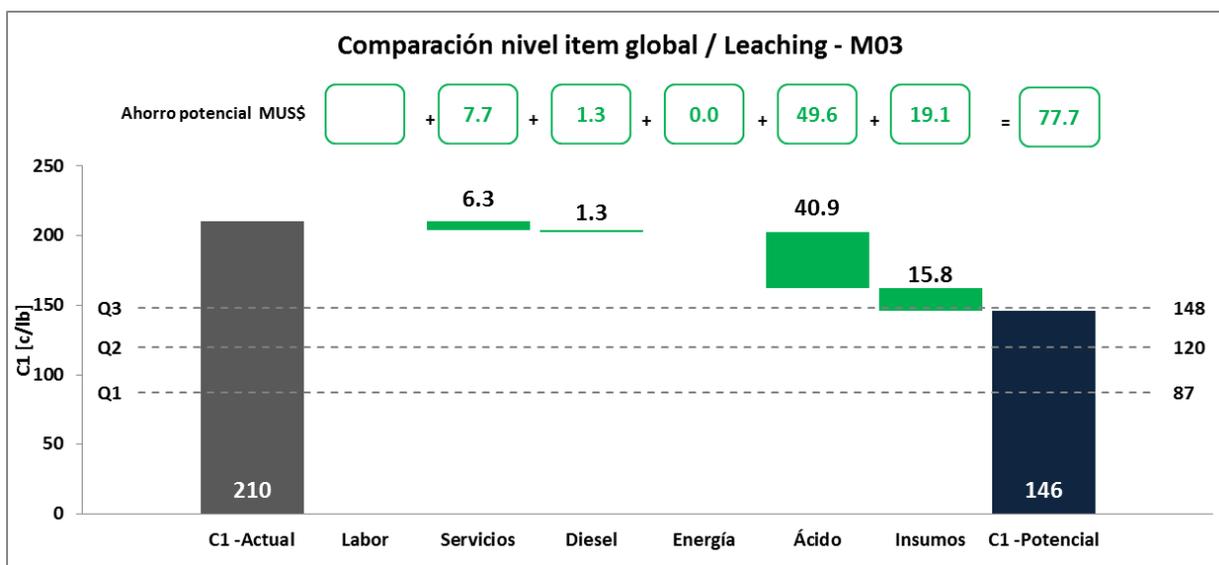


Graf. 90 Competitividad potencial a nivel ítem global consolidado por ítem de gasto para la industria nacional del cobre. Elaboración propia.

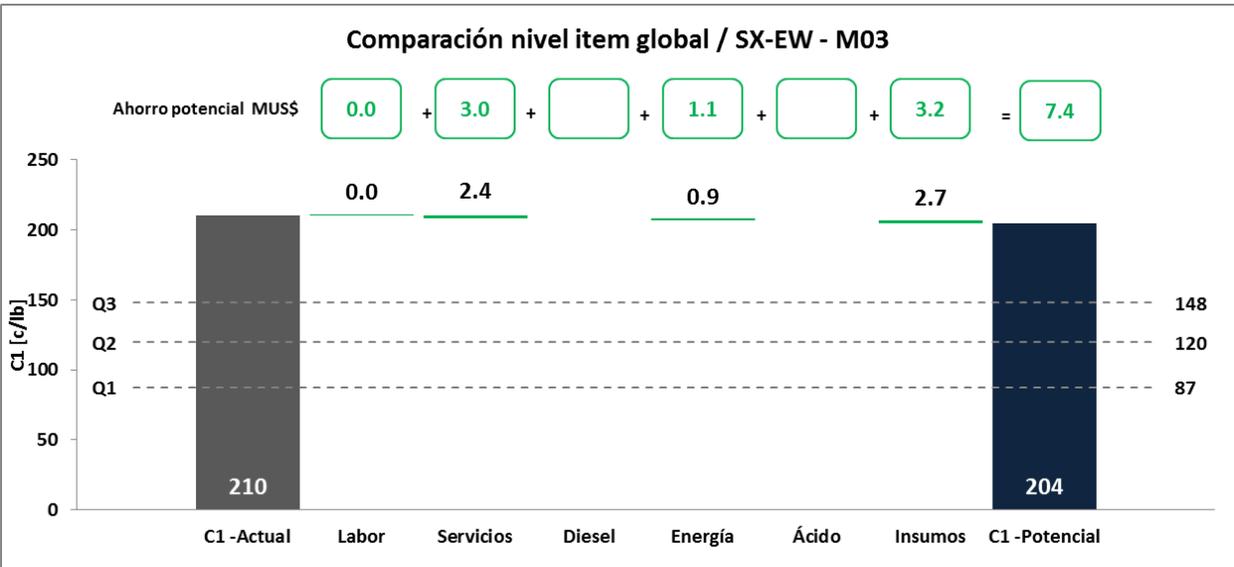
Haciendo el análisis más en detalle para la operación M03 del grupo AMSA, tenemos lo siguiente: En la mina existen 3 ítems que ofrecen oportunidad de mejora, la mano de obra, los servicios mina y la energía. Gestionando la mina hasta su máximo potencial, se podría reducir el C1 en 17 c, lo que implicaría un ahorro anual de 21 MUS\$. En el caso de la planta de lixiviación, existe un enorme potencial relacionado con el gasto del ácido, que por sí solo, podría generar ahorros por 41 c/lb, le sigue el gasto por otros insumos y los servicios asociados al proceso. Para la planta SX-EW, sólo se ven pequeñas oportunidades en cuanto a los servicios asociados y otros insumos, que entre ambos aportan un potencial de ahorro de 7.4 MUS\$. Por último, el G&A no tiene potencial alguno de ahorro, según la comparación realizada, es decir, están en el primer cuartil como proceso del mercado comparado.



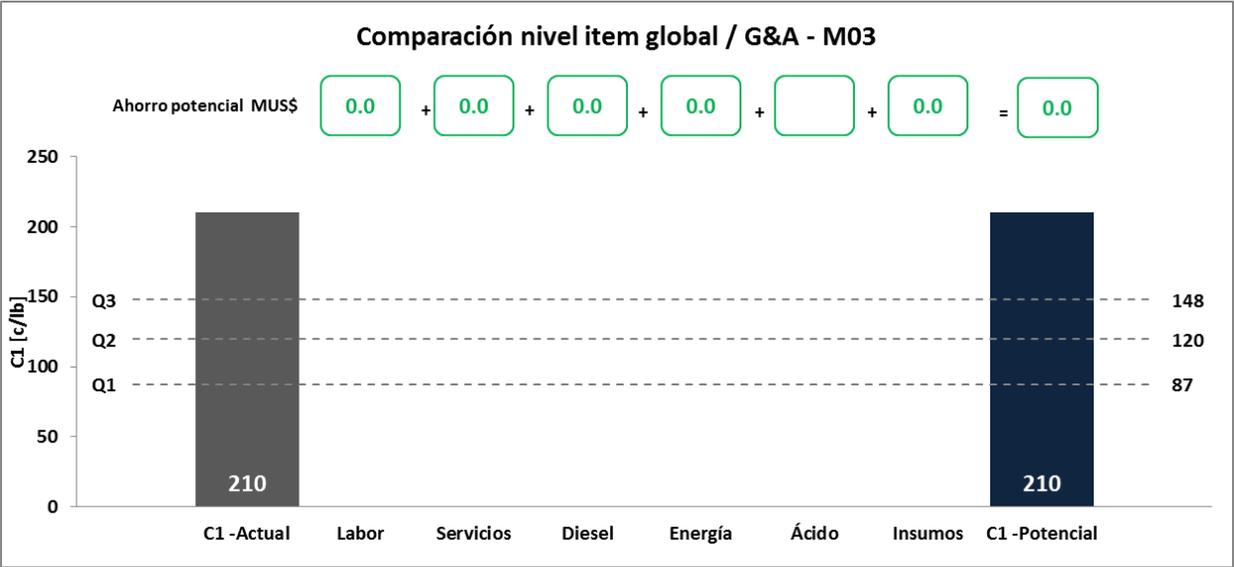
Graf. 91 Competitividad potencial a nivel de ítem global - mina para la Operación M33.  
Elaboración propia.



Graf. 92 Competitividad potencial a nivel de ítem global - leaching para la Operación M33.  
Elaboración propia.

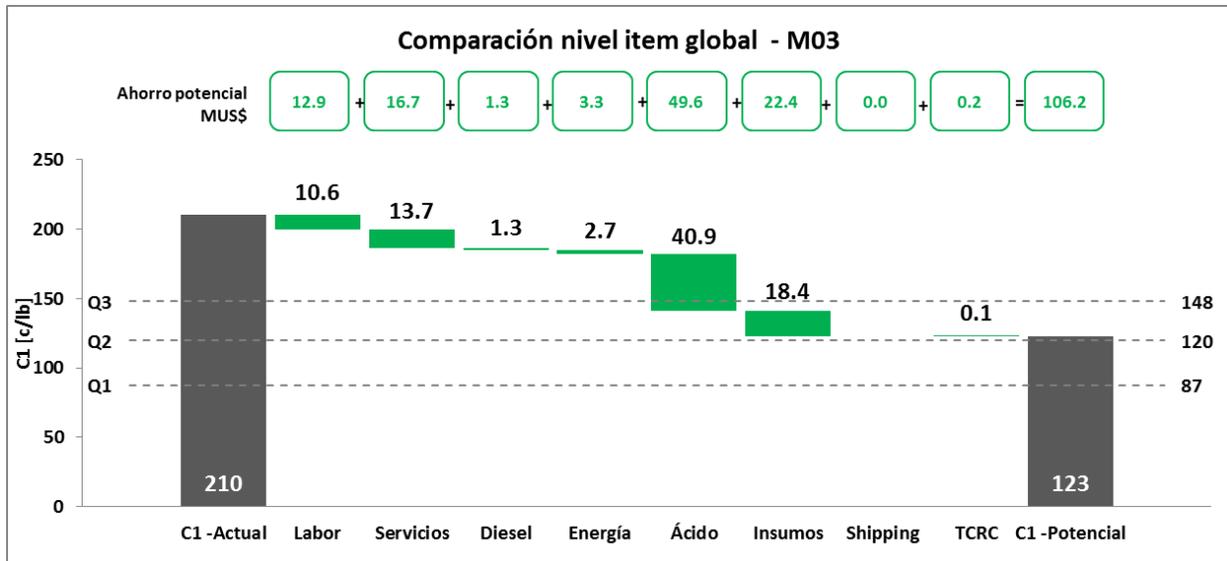


Graf. 93 Competitividad potencial a nivel de ítem global – SX-EW para la Operación M33.  
Elaboración propia.



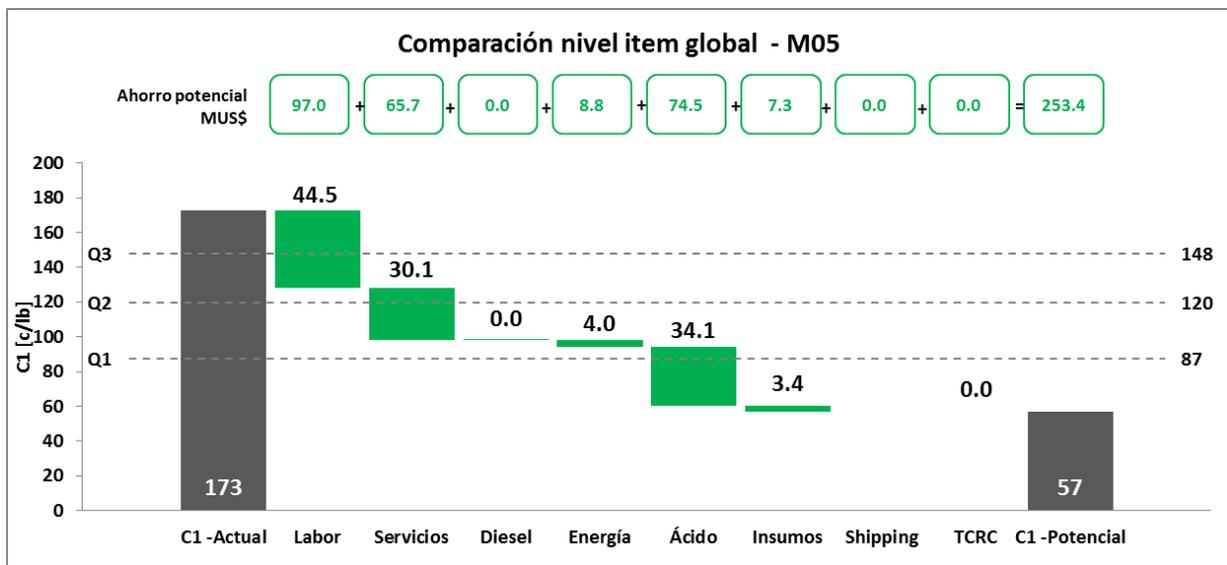
Graf. 94 Competitividad potencial a nivel de ítem global – G&A para la Operación M33.  
Elaboración propia.

Al totalizar los efectos de los ahorros por ítem de gasto de la operación M03, tenemos que el gran potencial está en gestionar el gasto de ácido, seguido por los servicios y otros insumos. El potencial calculado por este método arroja que M03 podría pasar de los 210 c/lb actuales a 123 c/lb, bastante mejor que el resultado entregado por el análisis a nivel de procesos, aun así todavía estaría en la banda del tercer cuartil.

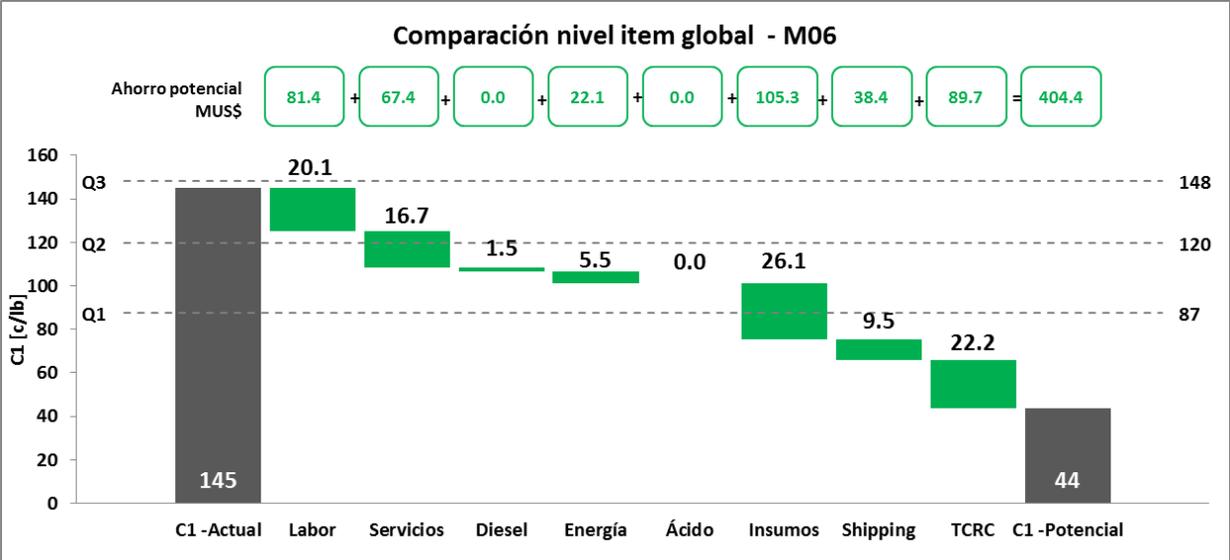


Graf. 95 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M03.  
Elaboración propia.

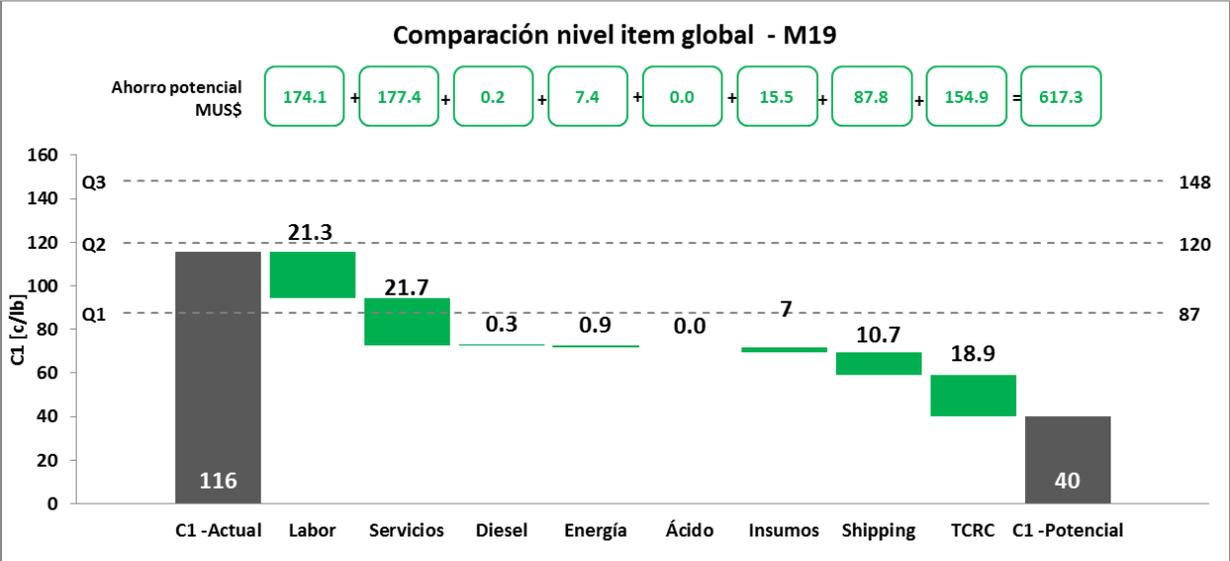
De la misma forma se puede llegar al resultado de las otras 4 operaciones del grupo. Los resultados son los siguientes:



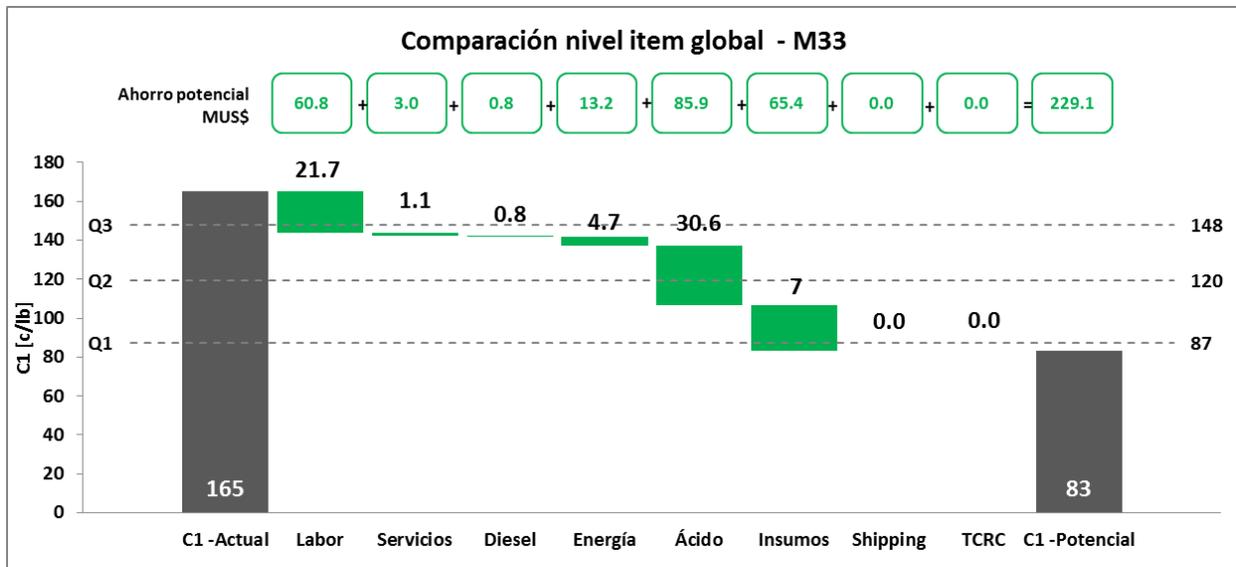
Graf. 96 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M05.  
Elaboración propia.



Graf. 97 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M06. Elaboración propia.



Graf. 98 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M19. Elaboración propia.

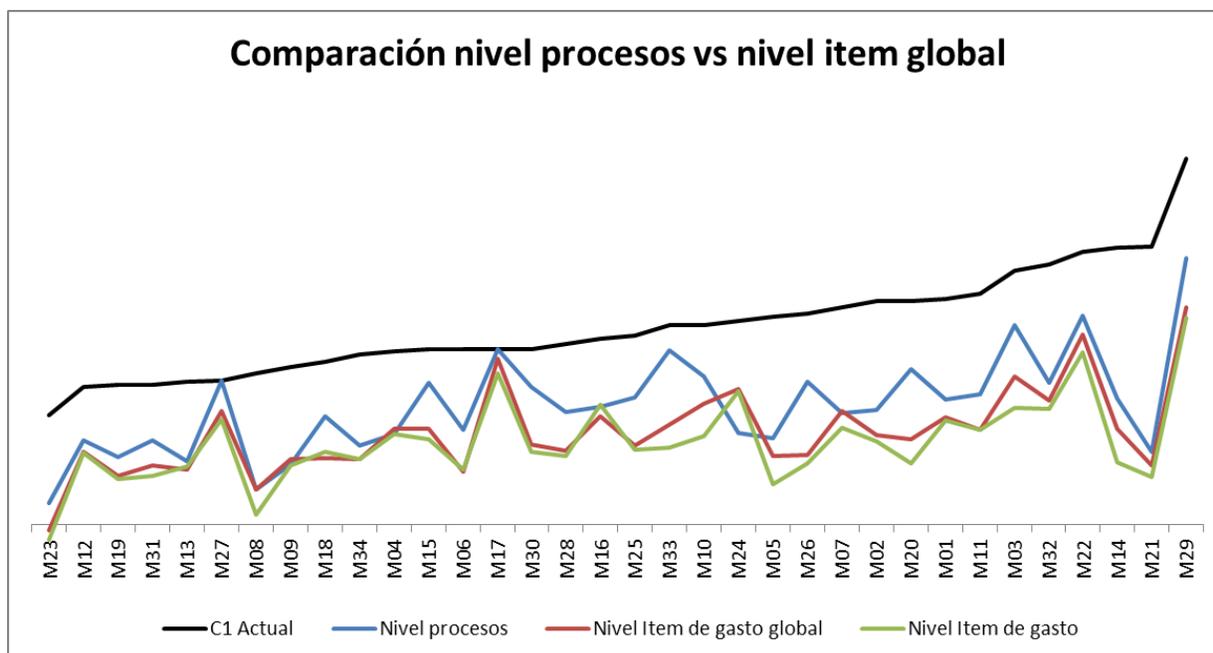


Graf. 99 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M33.  
Elaboración propia.

- **Comparación a nivel de ítem de gastos**

Este nivel de comparación es el que entrega mayor detalle de los potenciales focos de gestión para mejorar la competitividad. Para llevarlo a cabo es necesario realizar los cálculos por separado, es decir, calcular el potencial por precio de los ítem de gasto y el potencial por la cantidad utilizada en cada proceso de cada ítem de gasto. Los efectos son sumados para entregar el total del mejoramiento del C1 o competitividad. El resultado, por lo general, es mejor al resultado calculado a nivel por ítem global (Graf. 100), pero no mucho mejor. El valor de llegar a este nivel de análisis radica en la posibilidad de visualizar los excesos por tarifa pagada y la cantidad de recursos utilizados en cada proceso. Esto último, es necesario para calcular los rendimientos potenciales de los recursos críticos y compararlos con los rendimientos reales de la operación. Este detalle permite hacer una verificación técnica, más allá del estudio por comparación (benchmarking), de la posibilidad de alcanzar esos ratios mejorados, considerando las especificaciones técnicas de la infraestructura instalada y la calidad de material explotado.

El resultado general, para las 34 operaciones de Chile, separando los efectos de la tarifa y la cantidad se muestran en la Graf. 101 y Tabla 22. La tabla permite observar los efectos de precio y cantidad para los ítems de gasto de cada proceso para cada operación, identificando el impacto en C1 que representa llevarlo al estándar del primer cuartil de esa categoría.

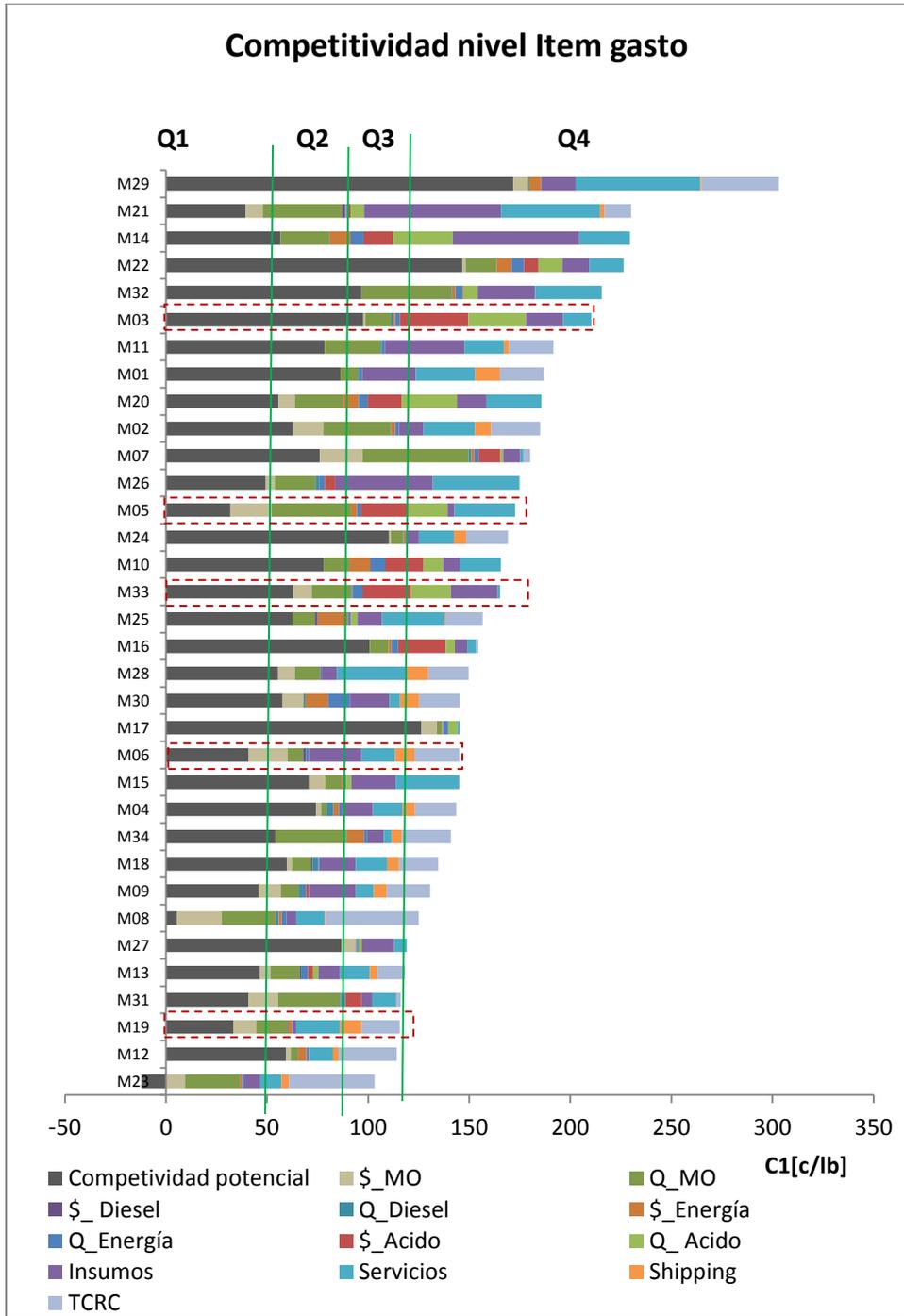


Graf. 100 Impacto sobre el potencial de los distintos niveles de comparación. Elaboración propia.

Para mostrar los efectos de precio y cantidad en detalle, se presentarán los resultados de la operación M19, con el fin de observar el potencial del análisis. En el caso de la mina (Graf. 102) es posible observar que el potencial de ahorro está dado por la mano de obra, los insumos y servicios. En el caso de la mano de obra, hay un exceso del costo por persona (+ 8.7 US\$/HH) y un exceso de dotación en la operación (+ 548 personas). Por lo tanto, los focos deben apuntar a mejorar la productividad de la mina, bajando la dotación existente y reduciendo los costos asociados al personal. La dotación para la mina de la operación M19 actual es de 1545 personas, por lo tanto, para llegar al óptimo (primer cuartil de la productividad de extracción mina), debe reducir su personal en un 35%. Es aquí donde comienza la etapa siguiente a esta metodología, es decir, evaluar la factibilidad de llevar a cabo los ahorros, sin destruir el valor de la compañía.

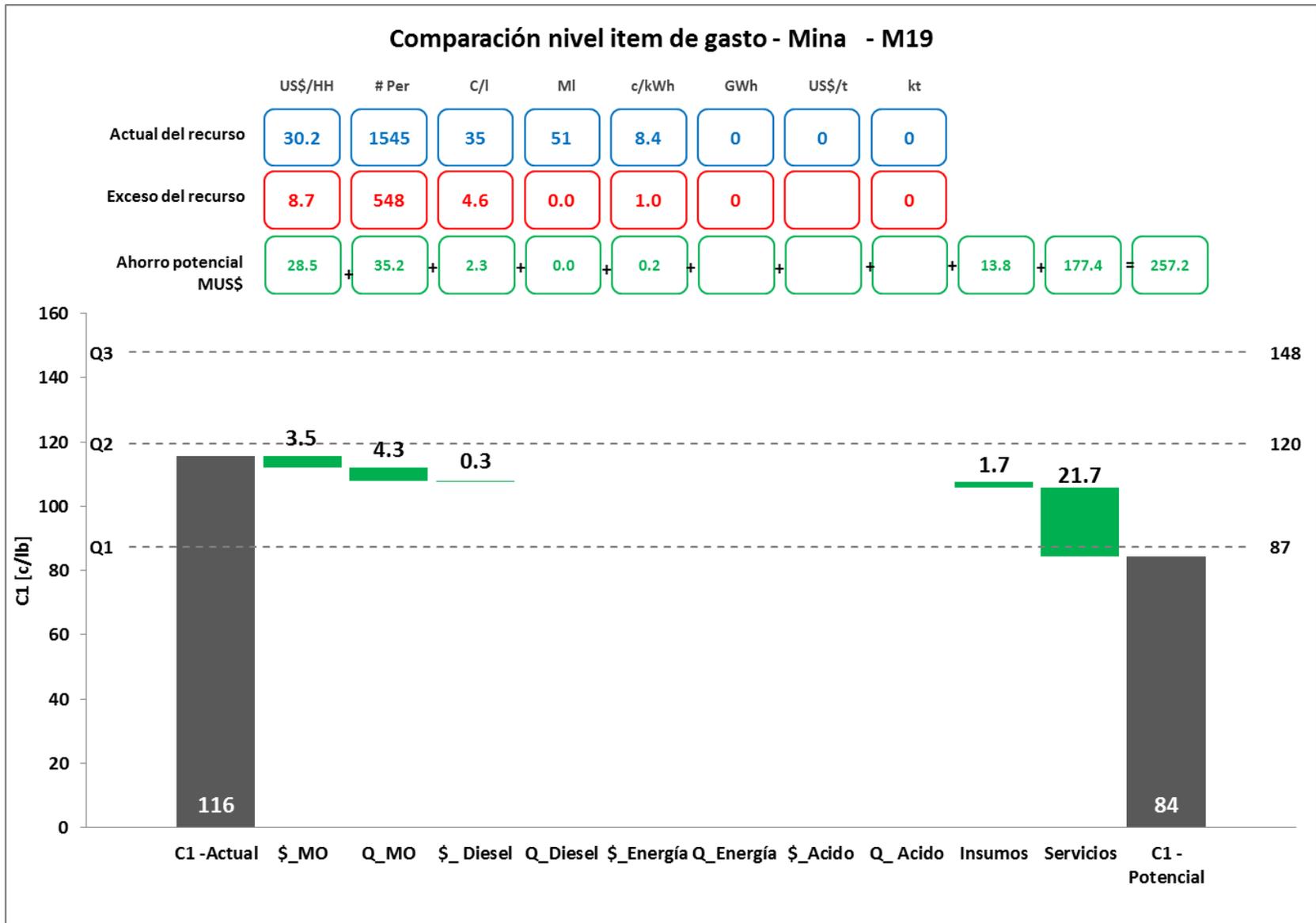
En el caso de la planta concentradora, la operación M19, presenta un ahorro potencial de 65 MUS\$ anuales, lo que impactó en 8 c/lb menos C1. Al igual que la mina, los focos de gestión están en la mano de obra, hay un exceso de costo en mano de obra y un exceso de dotación (306 personas). La energía presenta una tarifa mayor al primer cuartil del mercado, lo cual presenta un potencial ahorro de 13.3 MUS\$ al año.

En cuanto al G&A, M19 presenta un potencial ahorro de 110 MUS\$, básicamente asociados a la mano de obra, donde existe un exceso de dotación de 1160 personas (64% de la dotación actual). Los otros ahorros son marginales en su efecto sobre el C1. Por lo tanto, como recomendación para la operación M19, es trabajar en el mejoramiento de la productividad de la operación, pues está muy por debajo del estándar del primer cuartil de las operaciones chilenas.

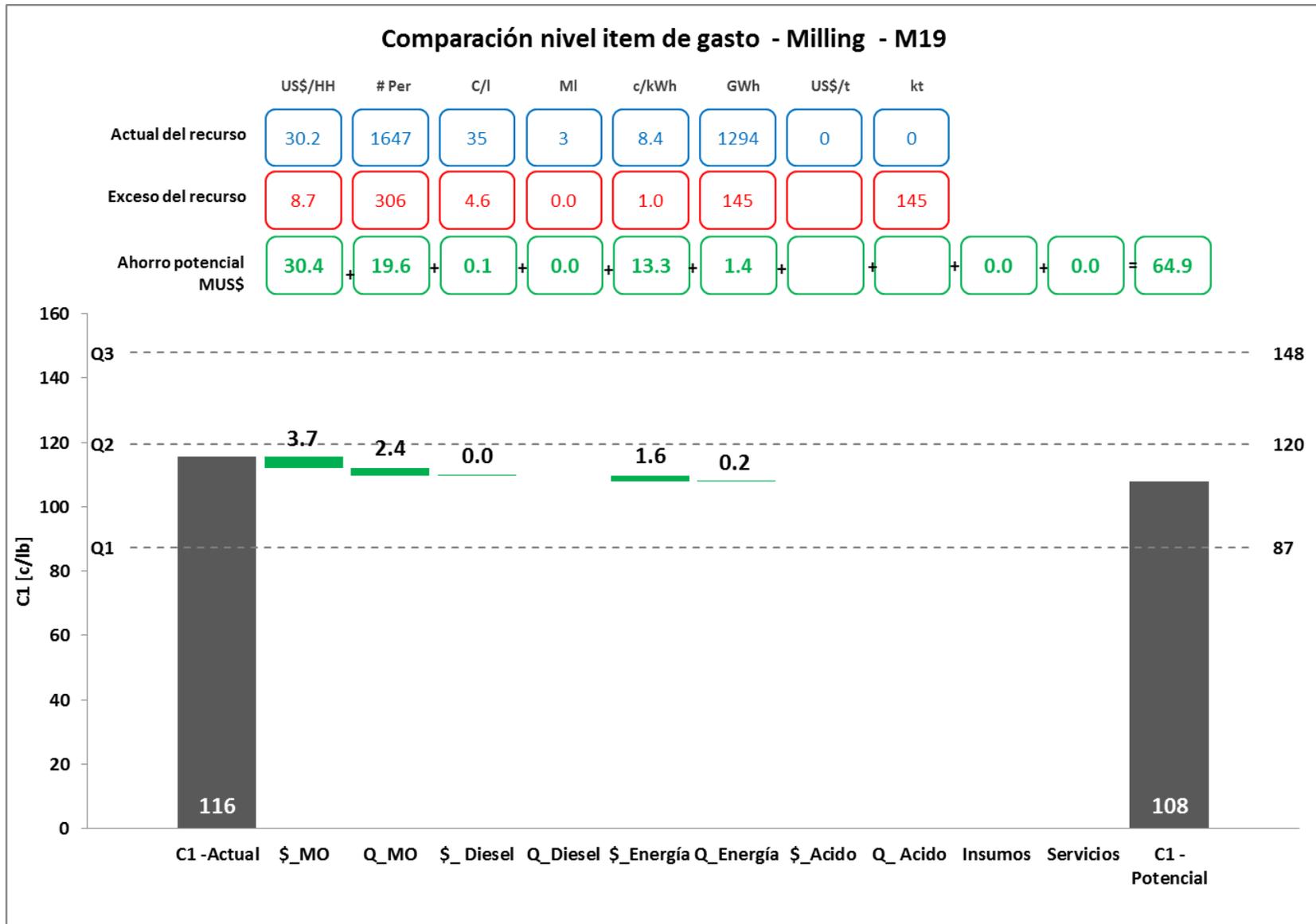


Graf. 101 Competitividad potencial a nivel ítem de gasto consolidado por ítem de gasto para la industria nacional del cobre. Elaboración propia.

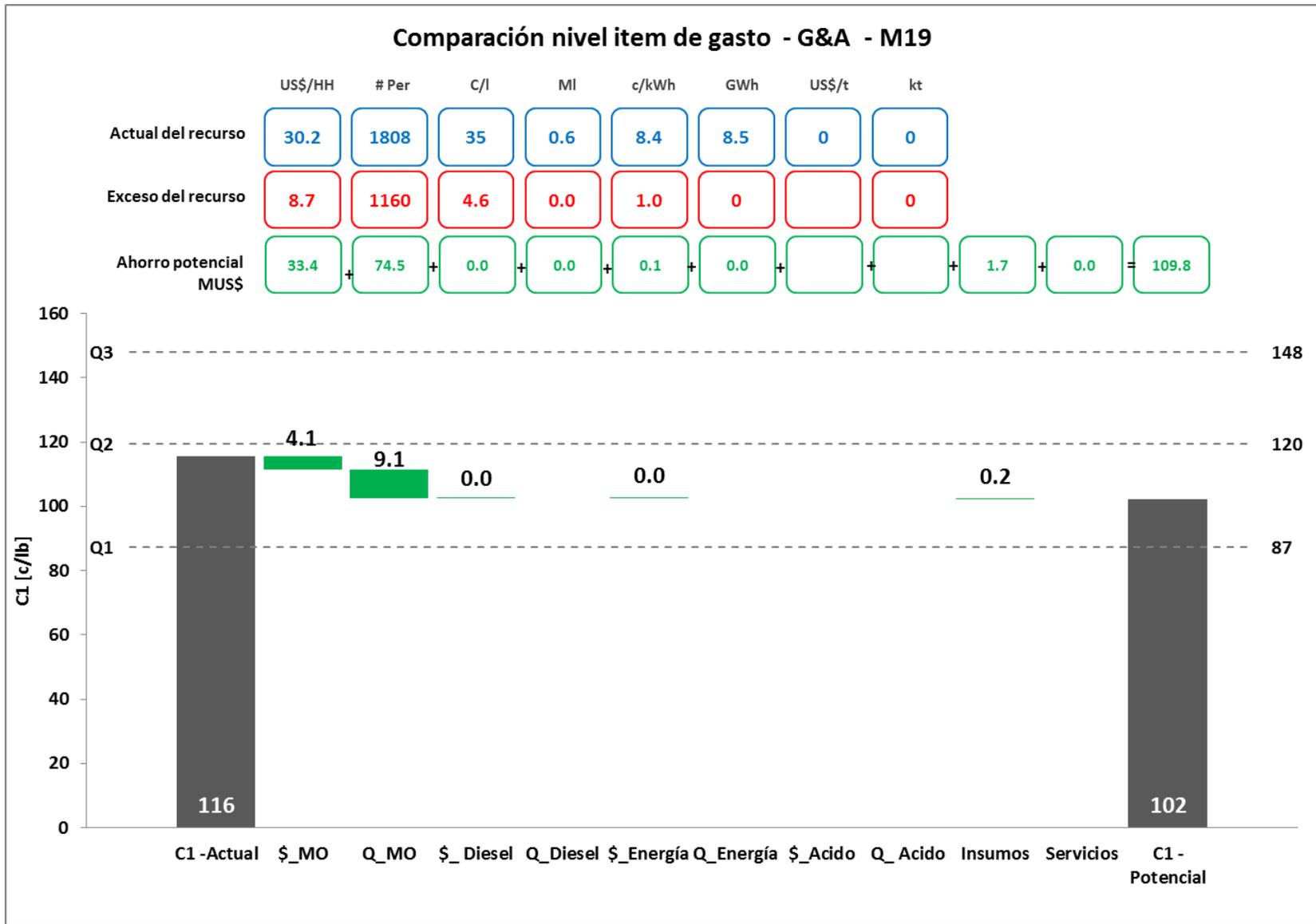
C1	Cia	Actual	Mina				Milling				Leaching				SX-EW				G&A				Insumos	Servicios	Shipping	TCRC	C1 potencial
			Labor	Diesel	Energía	Ácido	Labor	Diesel	Energía	Ácido	Labor	Diesel	Energía	Ácido	Labor	Diesel	Energía	Ácido	Labor	Diesel	Energía	Ácido					
M01	186.9	P	-	0.0	-	-	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-	26.4	29.5	12.1	21.7	97.1	
		Q	5.5	0.0	0.1	-	0.2	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4	-	0.9	-	12.2	25.5	7.9	24.2	98.1	
M02	185.0	P	3.6	0.1	0.1	-	5.0	0.0	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3	0.0	0.2	-	17.9	0.0	1.4	-	-	
		Q	6.1	0.0	0.1	-	9.3	0.1	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	17.9	0.0	1.4	-	18.4	13.7	-	0.1	142.2	
M03	210.4	P	0.7	0.0	0.2	-	-	-	-	-	0.0	0.2	34.0	0.1	-	0.6	-	0.1	0.0	0.0	-	-	0.0	-	-	-	-
		Q	2.2	-	1.4	-	-	-	-	-	1.1	-	28.5	0.6	-	0.8	-	-	0.0	-	-	-	15.0	14.7	6.2	20.4	82.1
M04	143.5	P	1.3	-	0.1	-	0.8	-	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.0	-	-	-	-	-	-	
		Q	2.7	3.2	0.7	-	0.2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.1	-	3.4	30.1	-	-	92.5	
M05	172.7	P	2.1	0.0	0.0	-	-	-	-	2.3	0.0	0.7	21.2	1.3	-	2.1	2.2	4.7	0.0	0.1	-	-	-	-	-	-	
		Q	28.0	-	-	-	-	-	-	1.8	0.0	1.1	17.6	-	-	0.5	1.8	9.4	-	0.5	-	26.1	16.7	9.5	22.2	49.8	
M06	145.1	P	9.8	1.5	-	-	4.9	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.6	0.0	-	-	8.5	1.5	-	3.5	133.0	
		Q	-	0.0	0.4	-	1.1	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	-	-	-	4.7	14.1	0.5	46.1	35.6	
M07	180.2	P	5.4	-	0.0	-	-	-	-	4.5	-	0.4	9.9	3.0	-	1.0	1.0	8.4	-	0.0	-	-	-	-	-	-	
		Q	3.3	-	-	-	-	-	-	12.2	1.4	0.7	0.0	7.5	-	1.3	1.2	29.2	0.1	0.0	-	10.8	14.7	3.8	13.5	67.3	
M08	125.0	P	14.6	0.3	0.2	-	4.1	0.0	1.0	-	0.4	0.0	0.0	-	0.2	-	0.1	2.8	0.0	0.1	-	62.6	25.0	-	-	117.0	
		Q	27.1	1.1	1.3	-	2.6	-	-	-	0.0	-	-	-	0.3	-	0.0	1.7	0.2	1.0	-	23.4	8.7	6.5	21.4	58.2	
M09	130.6	P	5.1	0.0	-	-	2.1	0.0	-	-	0.3	0.0	1.3	0.2	-	0.0	-	3.4	0.0	-	-	8.4	20.2	-	-	108.0	
		Q	0.2	1.3	0.4	-	0.3	0.0	0.3	-	0.4	-	0.1	-	0.3	-	0.0	7.8	0.0	1.3	-	39.4	19.6	2.3	22.1	108.2	
M10	165.6	P	-	-	0.2	-	-	-	-	-	4.8	18.0	-	-	4.8	0.8	-	-	0.4	-	-	0.8	20.2	-	-	108.0	
		Q	4.4	0.0	-	-	-	-	-	1.9	-	6.9	9.2	-	4.8	-	0.1	1.7	0.1	0.5	-	39.4	19.6	2.3	22.1	108.2	
M11	191.6	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	11.9	2.8	28.9	63.4	
		Q	24.0	-	-	-	3.7	0.2	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.0	-	-	0.8	11.9	2.8	28.9	63.4	
M12	114.1	P	0.1	0.0	0.0	-	1.9	0.0	3.9	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	0.3	0.0	0.0	-	0.8	11.9	2.8	28.9	63.4	
		Q	0.0	0.0	0.0	-	3.4	-	0.4	-	0.0	-	-	-	0.0	-	-	0.1	0.0	-	-	0.8	11.9	2.8	28.9	63.4	
M13	118.2	P	2.3	0.4	-	-	0.6	0.0	-	-	0.5	0.0	2.4	0.1	-	0.1	-	1.5	0.0	-	-	10.8	14.7	3.8	13.5	67.3	
		Q	3.3	0.7	0.6	-	0.0	0.3	-	-	3.4	0.1	1.4	2.7	-	0.1	0.0	3.0	0.0	0.2	-	10.8	14.7	3.8	13.5	67.3	
M14	229.5	P	-	0.2	0.8	-	-	-	-	-	0.0	4.6	13.6	-	-	4.8	0.8	-	0.0	0.1	-	62.6	25.0	-	-	117.0	
		Q	9.3	0.0	0.8	-	-	-	-	-	8.7	0.0	5.7	27.8	3.1	-	1.9	3.0	-	-	-	62.6	25.0	-	-	117.0	
M15	145.1	P	1.1	0.0	0.0	-	-	-	-	1.7	0.0	0.4	-	2.1	-	0.9	-	3.1	0.0	0.1	-	21.9	31.4	-	0.0	82.2	
		Q	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	0.1	2.7	-	3.6	-	0.1	-	4.4	0.2	0.5	-	21.9	31.4	-	0.0	82.2	
M16	154.5	P	-	-	0.0	-	-	-	-	-	0.4	23.2	-	-	-	1.0	0.3	-	-	0.0	-	6.0	4.5	-	1.1	117.9	
		Q	-	-	0.1	-	-	-	-	2.1	-	2.4	4.5	3.6	-	0.9	0.0	3.7	-	0.1	-	6.0	4.5	-	1.1	117.9	
M17	145.4	P	4.2	0.1	0.0	-	-	-	-	1.9	0.0	0.1	-	1.0	-	0.2	-	0.5	0.0	0.0	-	0.1	1.1	-	-	135.9	
		Q	-	0.0	0.2	-	-	-	-	2.3	0.1	2.1	4.5	-	-	0.2	0.1	0.1	0.0	-	-	0.1	1.1	-	-	135.9	
M18	134.6	P	1.6	0.4	-	-	0.6	0.2	-	-	0.0	0.1	-	-	0.1	-	-	0.2	0.1	-	-	18.0	15.5	5.9	19.4	72.6	
		Q	8.9	0.0	0.0	-	0.1	1.2	-	-	0.9	-	-	-	0.5	-	-	0.5	0.7	-	-	18.0	15.5	5.9	19.4	72.6	
M19	115.7	P	3.5	0.3	-	-	3.7	0.0	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	0.0	0.0	-	1.9	21.7	10.7	18.9	49.2	
		Q	4.3	0.0	-	-	2.4	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-	-	-	1.9	21.7	10.7	18.9	49.2	
M20	185.6	P	2.8	0.1	0.8	-	-	-	-	2.0	0.0	1.7	17.0	1.5	-	5.1	-	2.0	0.0	0.1	-	14.7	27.1	-	-	110.9	
		Q	8.2	-	1.1	-	-	-	-	5.5	-	1.4	27.1	3.7	-	1.9	-	6.3	-	-	-	14.7	27.1	-	-	110.9	
M21	230.1	P	5.3	1.4	0.0	-	1.6	0.1	0.2	-	0.7	0.0	0.0	1.5	0.3	-	0.1	0.5	0.0	0.0	-	67.9	49.0	2.1	13.3	86.1	
		Q	28.4	-	-	-	7.4	0.1	-	-	3.1	0.0	-	6.5	0.1	-	0.0	0.3	0.0	0.6	-	67.9	49.0	2.1	13.3	86.1	
M22	226.3	P	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	2.8	6.9	0.6	-	4.3	0.2	0.4	-	0.4	-	13.3	17.0	-	-	179.9	
		Q	-	-	-	-	-	-	-	6.5	0.0	5.2	11.6	5.4	-	0.2	-	3.3	0.0	1.0	-	13.3	17.0	-	-	179.9	
M23	90.9	P	5.7	0.1	0.1	-	2.4	0.0	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	0.0	0.1	-	7.9	10.3	3.7	42.4	15.9	
		Q	17.2	0.0	0.5	-	6.6	0.0	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	0.0	0.3	-	7.9	10.3	3.7	42.4	15.9	
M24	169.1	P	-	-	-	-	0.3	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-	0.0	-	6.7	17.2	6.2	20.6	116.6	
		Q	-	-	-	-	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	0.0	0.0	-	6.7	17.2	6.2	20.6	116.6	
M25	156.7	P	-	1.0	0.3	-	0.1	12.5	-	-	0.0	0.5	0.4	-	-	1.4	0.0	-	0.1	0.2	-	12.3	30.8	0.4	18.5	78.2	
		Q	1.5	0.0	0.4	-	6.3	0.0	0.3	-	1.6	0.1	0.4	3.0	1.3	-	0.1	0.3	0.1	0.1	-	12.3	30.8	0.4	18.5	78.2	
M26	175.1	P	1.5	0.0	-	-	-	-	-	0.6	0.0	-	5.2	0.3	-	0.2	-	2.0	0.0	-	-	48.1	42.8	-	0.3	74.1	
		Q	6.1	0.2	0.8	-	-	-	-	1.1	0.8	0.4	-	-	-	0.8	-	3.0	0.6	1.0	-	48.1	42.8	-	0.3	74.1	
M27	119.1	P	5.6	0.3	-	-	-	-	-	0.4	0.0	-	-	0.4	-	-	-	0.7	0.0	-	-	16.1	6.1	-	-	89.4	
		Q	-	0.0	0.1	-	-	-	-	0.4	0.0	-	-	0.4	-	-	-	0.7	0.0	-	-	16.1	6.1	-	-	89.4	
M28	149.6	P	3.2	0.1	-	-	3.6	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	0.0	-	-	7.5	34.8	10.5	19.9	68.5	
		Q	5.4	0.0	0.1	-	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	-	0.4	-	7.5	34.8	10.5	19.9	68.5	
M29	303.2																										



Graf. 102 Competitividad potencial a nivel de ítem de gasto – Mina para la Operación M19. Elaboración propia.



Graf. 103 Competitividad potencial a nivel de ítem de gasto – Milling para la Operación M19. Elaboración propia.



Graf. 104 Competitividad potencial a nivel de ítem de gasto – G&A para la Operación M19. Elaboración propia.

## VI. Resultados

Los resultados obtenidos de la industria nacional se pueden analizar desde el punto de vista de los ítems de gasto y desde el punto de vista de los procesos.

Desde el punto de vista de los ítems de gasto, es importante destacar donde se encuentran las brechas de gestión teniendo en cuenta las tarifas y la cantidad unitaria utilizada. En la Tabla 23 se muestra el peso que tienen los principales ítems de gasto en el costo operacional en terreno (mina, planta, G&A) proyectado para la industria nacional para el año 2016. En cada ítem de gasto se muestra la variabilidad que tienen la tarifa y la cantidad unitaria utilizada en el proceso de producción. Esto con el fin de mostrar que tan dispersa es la realidad nacional y en dónde, como industria, se deben focalizar los esfuerzos de gestión. La mano de obra representa la tercera parte del costo operacional, por lo tanto, debería ser el primer foco de gestión, principalmente en lo que respecta a la productividad. También es importante la gestión sobre los “otros insumos” y servicios, estos dos representan casi el 50% de costos operacional, por lo tanto, es importante desglosar su contenido y gestionar cada uno según corresponda.

Desde el punto de vista de los procesos, los relacionados a la planta presentan el mayor peso sobre la operación, seguido por la mina y por último el de administración. En la Tabla 24, se muestra el peso de los tres procesos sobre la operación y su variabilidad en la industria nacional. Tomando en cuenta lo mostrado en la Tabla 23 y los resultados de la Tabla 22 es posible identificar los focos de interés en cada proceso para orientar la gestión de costos. Principalmente los desafíos están en el mejoramiento de la productividad en mina y G&A, los costos de los servicios asociados a la planta, las tarifas de energía para las plantas concentradoras y las tarifas del ácido sulfúrico para las plantas de lixiviación.

Item de Gasto	Tarifa		Consumo unitario			Focos de gestión	
<b>Mano de Obra</b>	P25	42,856	US\$/per_año	P75	68.7	tCuf/per_año	Existe una gran brecha por costo y productividad de la mano de obra. Bajar los costos de mano de obra es complejo, debido a las negociaciones sindicales y leyes laborales que protegen los derechos de los trabajadores. Por lo tanto, el esfuerzo debe estar focalizado en mejorar la productividad de los trabajadores, automatizando los procesos y aplicando metodología de mejoramiento de la producción que permita reducir la cantidad de personas empleadas en las labores.
32%	Promedio	53,809		Promedio	55.7		
	Maximo	87,155		Mínimo	17.6		
	Desv std	12,916		Desv std	21.5		
<b>Diesel</b>	P25	30	c/l	P25	0.06	l/tmov*km	En la tarifa del diesel no existen grandes diferencias entre las operaciones, por lo tanto, solo sería importante gestionar los contratos del combustible cuando la tarifa sobre pasa los 31 c/l. En cuanto al rendimiento del combustible, no hay mayores diferencias entre las operaciones, por lo tanto, el espacio para introducir mejoras es menor. En conclusión el diesel no tiene mucho espacio para gestionar ahorros y cualquier efecto sobre el solo impactará el 3% de los costos operacionales.
3%	Promedio	31		Promedio	0.07		
	Maximo	59		Maximo	0.12		
	Desv std	8		Desv std	0.01		
<b>Energía eléctrica</b>	P25	74.0	US\$/Mwh	P25	16.6	KWH/ton_proc	Existe un potencial de ahorro tanto en tarifa, como en la cantidad de energía utilizada en el procesamiento del mineral. Las tarifas pueden ser gestionadas mediante contratos de abastecimiento, flexibles en el largo plazo dada la tendencia a la baja del precio de estos años. En cuanto a la cantidad utilizada, no es posible aventurar un juicio sin conocer las características del mineral procesado, puesto que a mayor dureza, mayor será el consumo. Por esto, operaciones con mayor dureza deberían apostar a fuentes de energía renovables propias, que ayuden a bajar el gasto en energía.
10%	Promedio	90.0		Promedio	22.5		
	Maximo	180.0		Maximo	43.3		
	Desv std	26.7		Desv std	8.6		
<b>Ácido</b>	P25	58.6	US\$/t	P25	7.9	kg/ton_proc	Hay un gran espacio para la gestión de la tarifa del ácido, el cual repercute fuertemente en las operaciones que solo tienen a la lixiviación como proceso de producción. La complejidad del mercado del ácido, el cual es muy sensible a la oferta del producto a nivel nacional e internacional, hace que sea recomendable tomar el precio spot del mercado. El tener contratos de largo plazo, se justificó en el pasado, ante una alza del precio. Si no existen cambios en el comportamiento del mercado importantes, es mejor gestionar el insumo por compras puntuales. La cantidad utilizada, en gran medida, depende del tipo de mineral tratado.
7%	Promedio	97.7		Promedio	23.6		
	Maximo	202.5		Maximo	155.8		
	Desv std	44.7		Desv std	34.3		
<b>Servicios</b>	Mina	Planta	G&A	Los servicios asociados a la operación son variados, estos pueden ser puntuales como el arriendo de un equipo para una tarea específica, como contratos de largo plazo como los de alimentación y mantenimiento en modelo MARC. Dado el importante impacto en la estructura de costos operacionales de las compañías, es importante que se realice una revisión de los servicios contratados, analizando la productividad de cada contrato y su costo, buscando información en el mercado para comparar y buscar oportunidades de reducir los gastos.			
23%	34%	44%	22%				
<b>Otros Insumos</b>	Mina	Planta	G&A	Los insumos están principalmente asociados a la planta (bolas de molinos, aditivos, aceros de desgaste) y a la mina (explosivos, neumáticos y acero de desgaste). Es importante revisar los contratos de abastecimiento de estos insumos, revisando las tarifas existentes y los rendimientos de cada uno. En función del comportamiento del mercado de cada uno, es importante analizar si es mejor comprar en el mercado spot o asegurar un contrato de largo plazo.			
25%	19%	74%	7%				

Tabla 23: Análisis de los costos operacionales por ítem de gasto a nivel nacional y focos de gestión. (Elaboración propia)

Proceso	Costo unitario		Focos de gestión
<b>Mina</b>	P25	0.18	<p>La mina posee un alto potencial de mejoramiento de sus costos. Tomando en cuenta los análisis realizados y los resultados obtenidos, el primer foco de gestión está asociado a la mano de obra (tabla 22). Existen muchas operaciones que poseen una alta dotación en este proceso. El foco de gestión debería apuntar a automatizar el proceso. Dejando solo el personal necesario para la supervisión y operación de los rajos. Actualmente la tecnología permite tener equipos autónomos o controlados a distancia. Esto tiene dos ventajas, la primera es la reducción del costo asociado a la mano de obra y la segunda es sacar a las personas de una de las labores más peligrosas dentro de la minería.</p>
32%	Promedio	0.30	
	Maximo	0.71	
	Desv std	0.15	
<b>Planta</b>	P25	1.81	<p>El costo del proceso de planta está determinado por el tipo de procesamiento, de las características mineralógicas y de la dureza del material tratado. Las operaciones de lixiviación deben preocuparse principalmente de obtener buenas tarifas de ácido sulfúrico en el mercado spot, en cambio las operaciones con concentradoras deben focalizarse en la gestión de buenos contratos de energía. En ambos tipos de planta los servicios de mantenimiento mayor son de suma importancia, pues movilizan una gran cantidad de personas a la operación, paralizan la producción y en función de como ésta sea realizada, dependerá el desempeño y confiabilidad de la planta.</p>
50%	Promedio	2.86	
	Maximo	7.23	
	Desv std	1.61	
<b>G&amp;A</b>	P25	1.73	<p>El proceso de administración debe procurar mantener la menor dotación posible. Es en este ítem donde aun quedan brechas importante por gestionar (tabla 22). Es importante buscar nuevas formas o estructuras de administrar las operaciones, que sean flexibles a las variantes del mercado, evitando la repetición de procesos o reportes que usan una gran cantidad de recursos humano y no agregan valor a la organización. En esta línea es necesario en automatizar los sistemas de colección de data y generación de reportes, ya sea usando sistemas ERP u otra herramienta de Business Intelligence. También es necesario que los controles y procedimientos sean adecuados a la organización, para evitar burocracia interna y trabajos sin valor.</p>
17%	Promedio	2.84	
	Maximo	7.23	
	Desv std	1.63	

Tabla 24: Análisis de los costos operacionales pro proceso a nivel nacional y focos de gestión. (Elaboración propia)

Los resultados obtenidos de la metodología desarrollada deben ser llevados a un formato que sirva como una herramienta de gestión para el equipo ejecutivo de una compañía, procurando entregar información relevante y de calidad para la focalización de los esfuerzos de gestión. Por lo tanto, se plantea el siguiente cuadro de mando para cada nivel de análisis de la competitividad.

### **Comparación a nivel de pre créditos**

Este nivel de comparación, sólo entrega información de la posición la compañía y las diferencias brutas de costo C1 con respecto al mercado. A nivel ejecutivo es interesante plantear metas de posicionamiento y ahorros en mediano y largo plazo, por lo tanto se propone el cuadro de mando integral de la Fig 26. El cual está dividido en 4 zonas:

- Zona 1: Presenta un esquema general de la posición actual de la operación dentro del mercado mundial. Se destaca la operación de un color diferente y se separa la brecha existente por pre crédito y el potencial que podría tener la operación al igualar su gestión pre credito al primer cuartil del mercado comparado.
- Zona 2: El gráfico de barra apilado muestra el costo C1 actual de la operación, el impacto en c/lb del ahorro o brecha existente y el potencial C1 al cual la operación podría llegar. A la derecha se muestra el porcentaje de variación que representa pasar de costo actual al costo potencial.
- Zona 3: El gráfico muestra el gasto operacional actual de la operación, medido en millones de dólares, la valorización monetaria de la brecha por pre créditos y cual debería ser el gasto a nivel C1 para lograr el costo potencial. A la derecha se muestra porcentualmente la variación ente el gasto actual y el gasto potencial.
- Zona 4: Esta zona muestra como varían los cuartiles en los próximos 5 años (líneas grises punteadas), la posición inicial de la compañía y la proyección de 4 planes para alcanzar la posición potencial. Cada plan indica el cuartil al que llegaría en el año de plazo y el ahorro anual que debería incurrir la compañía (en MUS\$) para lograr el objetivo.

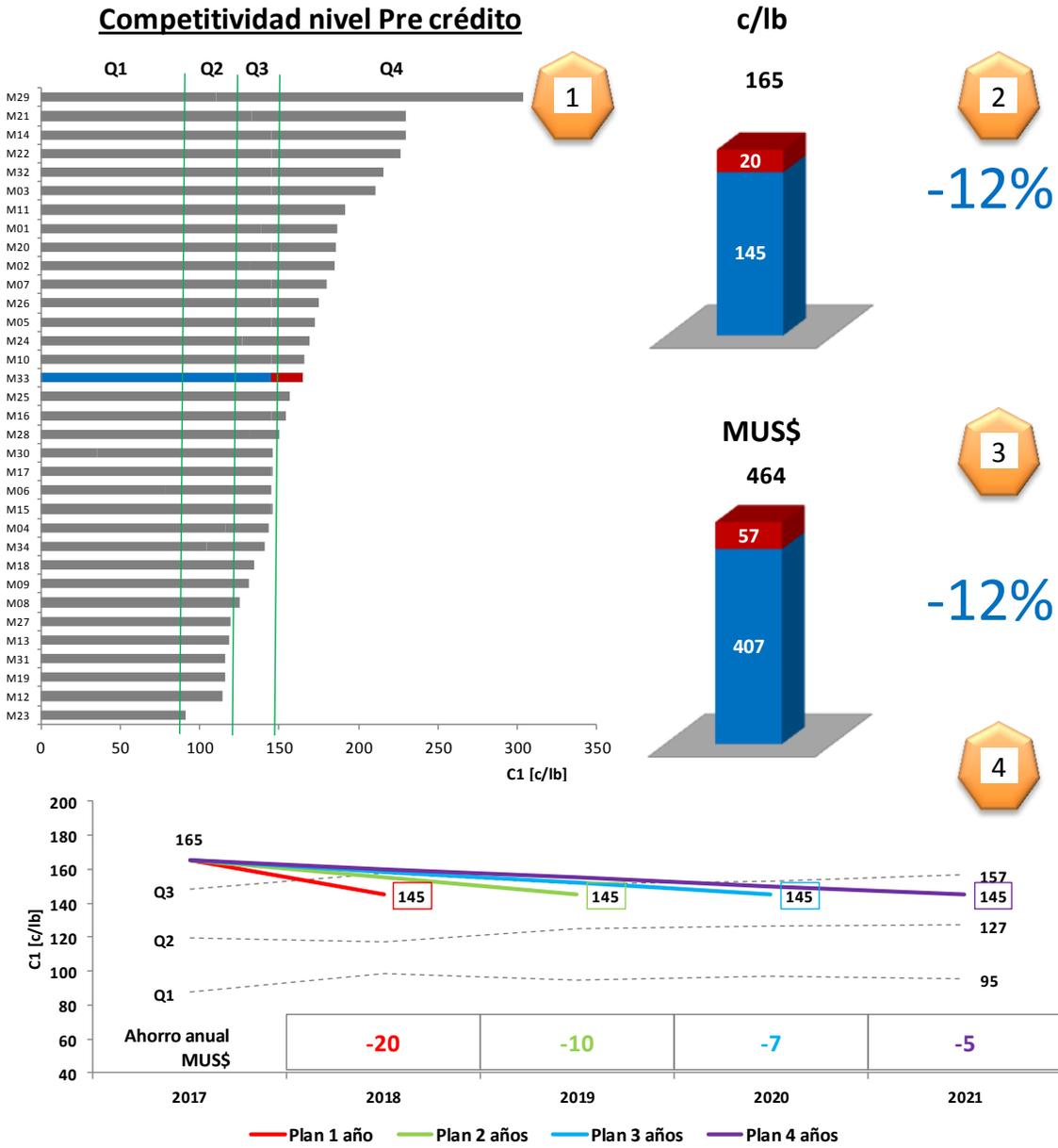


Fig 26 Cuadro de mando integral para comparación nivel pre crédito. (Elaboración propia)

## Comparación a nivel de procesos

Para la comparación a nivel de procesos se propone el cuadro de mando integral de la Fig 27. A este nivel lo importante es saber qué proceso tiene mayor potencial de mejoramiento y cuánto implica el ahorro de llevarlo al primer cuartil. Por lo anterior, se han definido 3 zonas dentro del cuadro de mando.

- Zona 1: Presenta un esquema general de la posición actual de la operación dentro del mercado comparado y del mercado mundial. Se destaca la operación de un color diferente y se separa la brecha existente por procesos y el potencial que podría tener la operación al igualar su gestión de procesos al primer cuartil del mercado comparado.
- Zona 2: Presenta un cuadro resumen con los gastos actuales por procesos, el potencial gasto a alcanzar, el ahorro involucrado y la variación porcentual respecto a la posición inicial. Además, en la columna de ahorro se incorpora una barra de intensidad que permite visualizar rápidamente el proceso que presente el mayor potencial de ahorro.
- Zona 3: El gráfico cascada permite visualizar los efectos de los ahorros en c/lb sobre el C1 actual para formar el C1 potencial y su posicionamiento dentro de los cuartiles. Además, se incluye el ahorro por procesos en millones de dólares y el total a ahorrar para conseguir la posición indicada. Por último, en la parte inferior se muestra la diferencia total en c/lb entre el C1 actual y el C1 potencial.

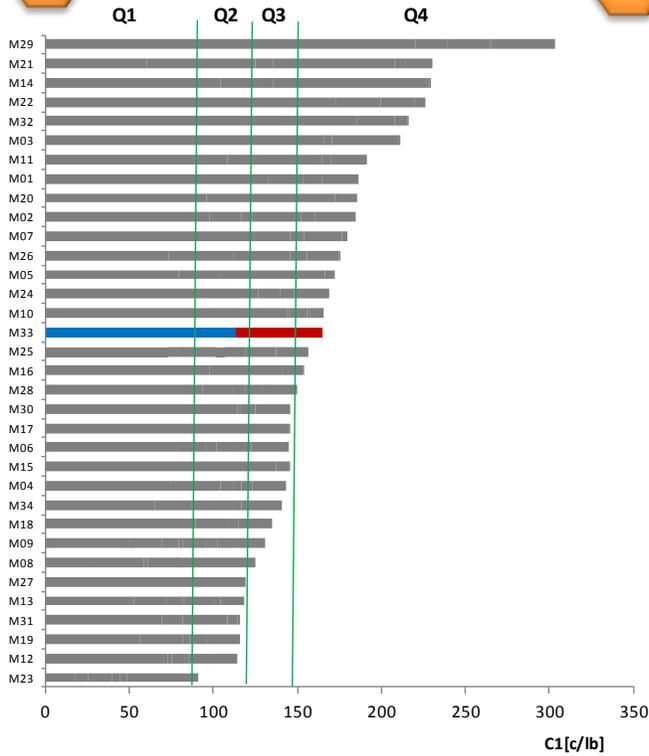
## Comparación a nivel de ítem global

Este cuadro debe ser más operativo y permitir ver rápidamente cuales son los ítems gestionables que gatillan el ahorro potencial. Se propone el cuadro de la Fig 28, el que se divide en 3 zonas, las cuales permiten tener una visión general de la posición de competitividad y el detalle de las palancas que gatillan el ahorro.

- Zona 1: Presenta un esquema general de la posición actual de la operación dentro del mercado comparado y del mercado mundial. Se destaca la operación de un color diferente y se separa la brecha existente por ítem global y el potencial que podría tener la operación al igualar su gestión de ítems de gasto por proceso al primer cuartil del mercado comparado.
- Zona 2: Presenta en un cuadro resumen los ahorros potenciales por ítem de gasto de cada proceso medidos en millones de dólares. La suma horizontal corresponde al ahorro potencial del proceso y la suma vertical al ahorro potencial de ítem en todos los procesos, que coincide con lo mostrado en la gráfica de la zona 3. Se destaca en barras proporcionales color verde el impacto del ahorro dentro de cada proceso y en barras rojas, el impacto del ahorro del proceso sobre el total.

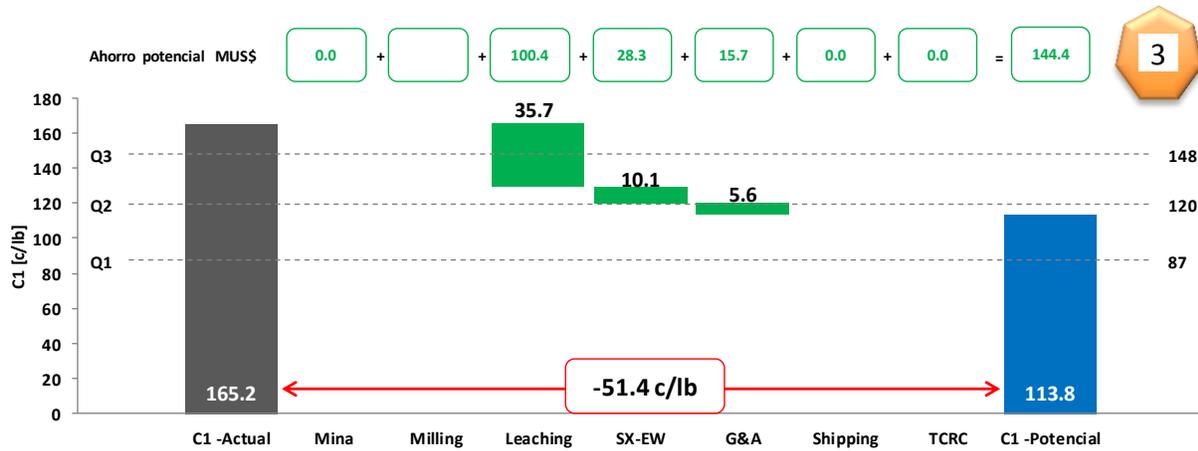
1

**Competitividad nivel Procesos**



2

MUS\$	Gasto Actual	Gasto Potencial	Ahorro	Variación %
<b>Mina</b>	129.7	129.7	0.0	0%
<b>Milling</b>				
<b>Leaching</b>	176.9	76.5	100.4	-57%
<b>SX-EW</b>	91.2	63.0	28.3	-31%
<b>G&amp;A</b>	54.3	38.5	15.7	-29%
<b>Shipping</b>	0.0	0.0	0.0	0%
<b>TCRC</b>	4.3	4.3	0.0	0%



3

Fig 27 Cuadro de mando integral para comparación nivel procesos. (Elaboración propia)

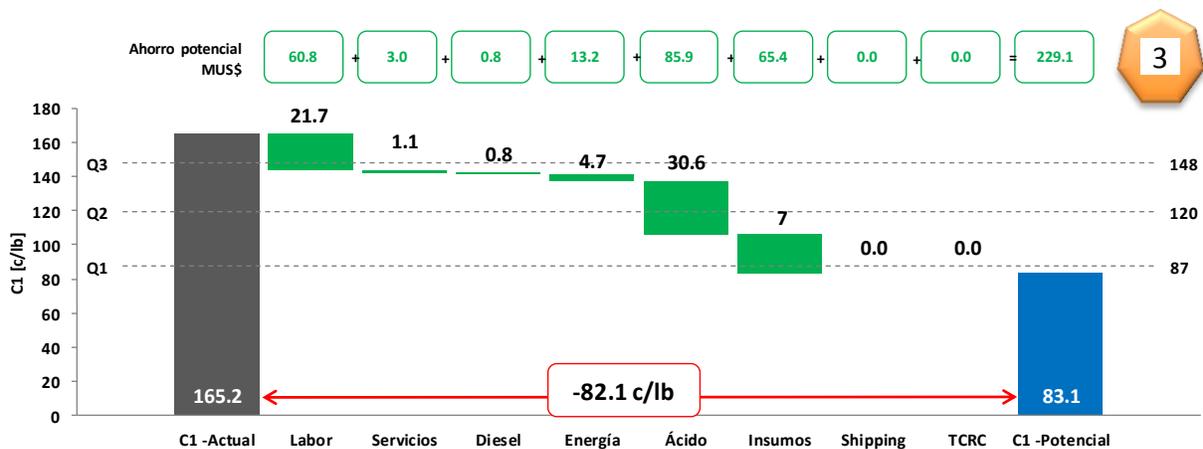
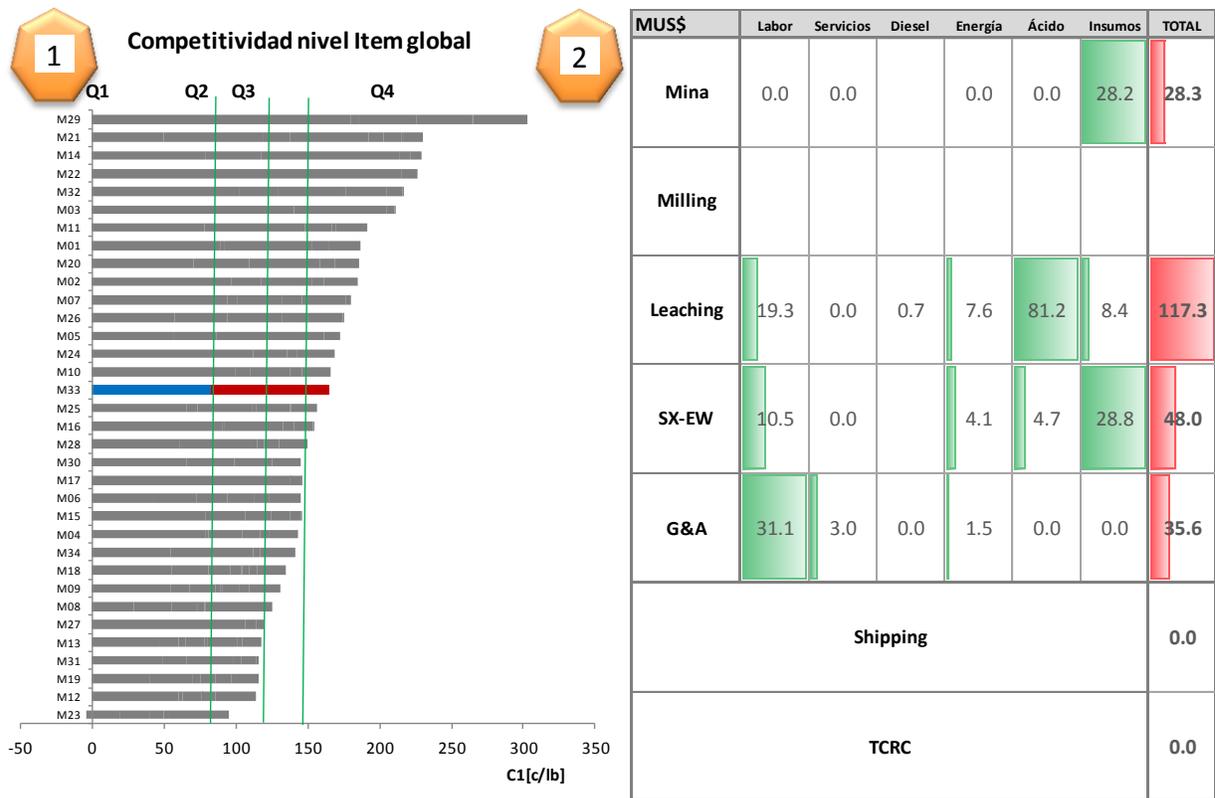


Fig 28 Cuadro de mando integral para comparación nivel ítem global. (Elaboración propia)

- Zona 3: El gráfico cascada permite visualizar los efectos de los ahorros de los ítems de gasto en c/lb sobre el C1 actual para formar el C1 potencial y su posicionamiento dentro de los cuartiles. Además, se incluyen los ahorros totales en MUS\$ de cada ítem de gasto y la diferencia en c/lb del C1 actual y el C1 potencial.

## Comparación a nivel de ítem de gasto

Este cuadro de mando debe entregar mayor información de detalle, dejando en claro cuales son las palancas de tarifas y consumos que deben ser gestioandas para lograr el ahorro que genera la competitividad potencial de la operación. Por la cantidad de información a mostrar, se hará un cuadro por proceso, manteniendo la visión global del análisis, pero detallando el impacto del P/Q en uno. El cuadro propuesto tiene tres zonas:

- Zona 1: Presenta un esquema general de la posición actual de la operación dentro del mercado comparado y del mercado mundial. Se destaca la operación de un color diferente y se separa la brecha existente por ítem gasto (total, no sólo la asociada al proceso) y el potencial que podría tener la operación al igualar su gestión de ítems de gasto por precio y cantidad en cada proceso al primer cuartil del mercado comparado.
- Zona 2: Presenta un cuadro resumen con los ahorros asociados a la disminución de la tarifa y el uso de los recursos por cada ítem de gasto y en el proceso analizado. Además, se muestra la potencial tarifa que debería tener el recurso y el rendimiento de éste para conseguir el ahorro potencial. Se destaca en barras verdes proporcionales el ahorro por efecto precio y cantidad de los recursos y en barras rojas el impacto en el ahorro por ítem de gasto.
- Zona 3: Presenta un gráfico cascada con los efectos de precio y cantidad de los ítems de gastos asociados a los ahorros que conforman el potencial C1. En la parte superior se muestra el estado actual del recurso en el proceso analizado (cuadros azules), en rojo el exceso del precio o cantidad del recurso respecto al primer cuartil del mercado comparado, y en verde el ahorro en millones de dólares de cada efecto. En la parte inferior se muestra la diferencia total en c/lb de C1 actual con el C1 potencial.

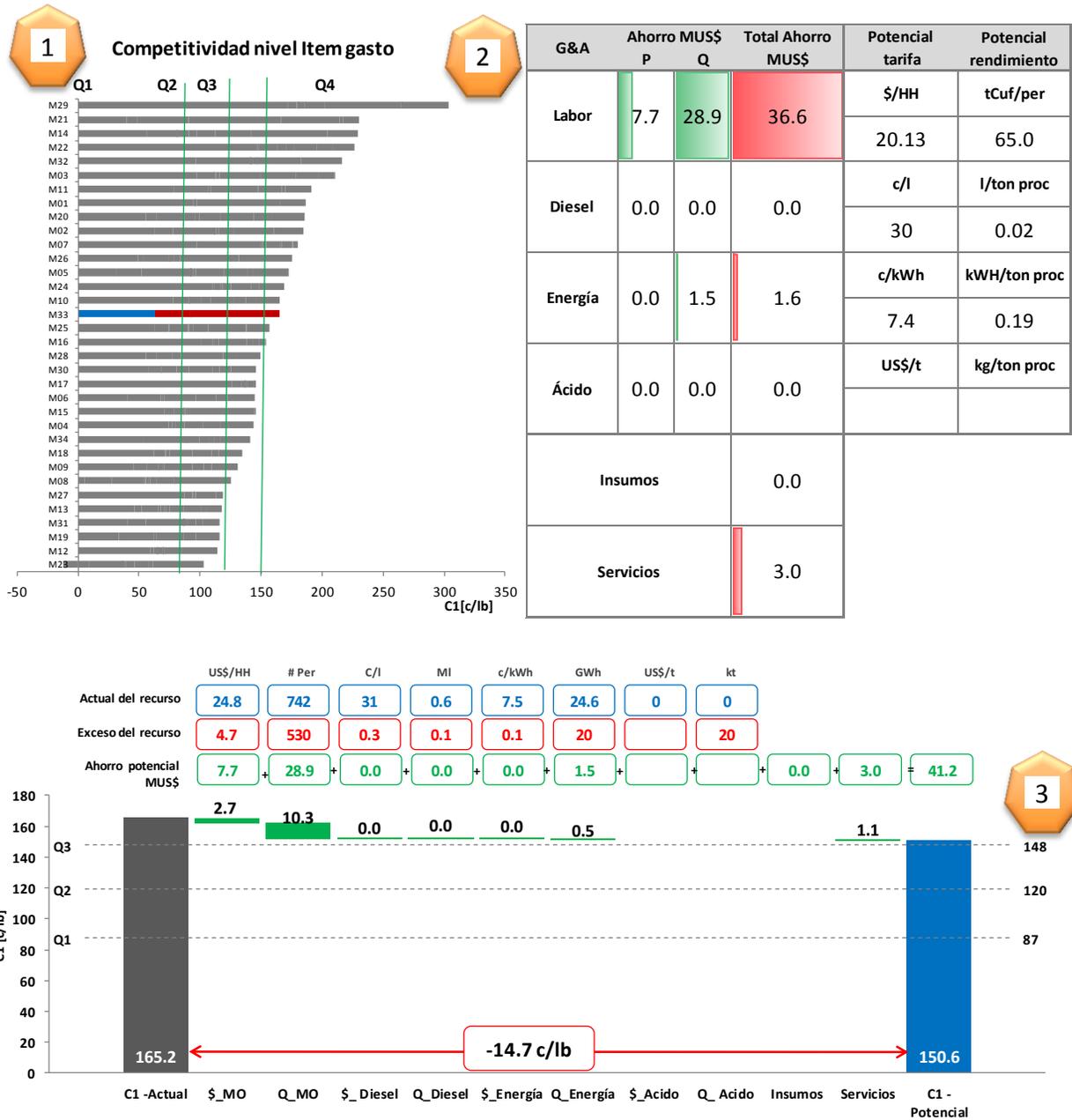


Fig 29 Cuadro de mando integral para comparación nivel ítem de gasto. (Elaboración propia)

## VII. Conclusiones y recomendaciones

### 1. Conclusiones

El mercado del cobre, como industria commodity, siempre ha tenido márgenes estrechos, a excepción de lo vivido durante el súper ciclo, donde el precio creció, triplicando su valor en poco tiempo, impulsando a las operaciones a producir a toda costa. Esto llevó a una sobre producción y alza en los costos operacionales que, una vez terminado el período de bonanza, fue necesario revertir. Las compañías se han visto obligadas a aplicar fuertes planes de ahorros con el fin de mantener la sustentabilidad del negocio en el tiempo. La metodología desarrollada permite orientar los esfuerzos de ahorro, procurando exponer las oportunidades de mejoras, tomando como ejemplo o referente a los mejores representantes dentro del mercado comparado.

La metodología desarrollada es flexible y permite comparar una operación en forma global, nacional, o incluso escoger las operaciones con las cuales hay mayor similitud en su estructura y capacidad. Lo importante es contar con información suficiente y de calidad para seguir la metodología planteada.

Los procesos productivos de la minería del cobre tienen insumos o recursos característicos de gran peso sobre el costo total, esto permite simplificar el análisis, focalizando los esfuerzos en los 6 ítems principales de gastos: mano de obra, combustible, energía eléctrica, ácido sulfúrico, servicios y otros insumos.

La introducción del análisis de las variables endógenas en la metodología y la separación de la estructura de costos en gestionable y no gestionable, permite entregar mayor confiabilidad a los resultados obtenidos, puesto que evita caer en ahorros fuera de lógica, que desestimen el uso de la herramienta. En consecuencia, una correcta estimación de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  resulta fundamental. Ante la escasez de información, el tercer método de estimación de estos parámetros entregará una aproximación del potencial competitivo, siendo el mercado comparado quien determine brechas potenciales a gestionar.

En cuanto al impacto de las condiciones endógenas de las operaciones sobre los ítems de gasto, es posible decir que éstas varían en el tiempo en función de cómo las operaciones responden a los distintos estímulos del mercado ajustando su estructura de costos. En las gráficas del capítulo V.2 es posible apreciar para el 2016 las tendencias son más claras que para el 2013. Lo anterior indica que, con la caída sostenida del precio del cobre, las operaciones comenzaron a optimizar el uso de sus recursos, disminuyendo la fracción gestionable de sus costos.

Por lo anterior, es importante que el análisis del impacto de las variables endógenas sea actualizado, al menos, una vez al año. Nuevas condiciones del mercado y nuevas estructuras

de costos operacionales podrían generar nuevas tendencias o referentes, modificando el cálculo de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  y por ende la fracción gestionable del costo operacional.

La mano de obra es uno de los recursos principales de las operaciones mineras, representa la tercera parte del gasto operacional (considerando remuneración, bonos y servicios asociados). Su costo depende de la ubicación geográfica de la operación (altura geográfica), el tamaño de la producción y la cantidad de cobre producido, siendo esta última característica de la operación la que más repercute en el costo de la mano de obra. Operaciones con mayor producción de cobre tienen un costo más alto de mano de obra. La cantidad de horas hombres utilizadas en la operación tiene una tendencia a ser directamente proporcional con el tamaño de la producción, por lo tanto, no hay economías de escalas en este ítem, es decir, operaciones más grandes, contratarán más personas para efectuar sus labores. Aquí existe un gran potencial de mejoramiento a nivel de la industria, el mejoramiento de la productividad, impacta directamente en el 32% de la estructura de costo de una operación, según lo mostrado por la Tabla 22, varias operaciones tienen un alto potencial de mejoramiento en cuanto a la cantidad de personas contratadas en los procesos, sobre todo en la extracción mina y el G&A. Esto va en línea con los esfuerzos que han realizado las compañías en los dos últimos años, en donde los despidos masivos ha sido la primera acción tomada para reducir sus gastos operacionales. Las operaciones deben buscar la forma de hacer sus procesos más eficientes automatizando sus procesos. Hoy es posible operar remotamente la gran mayoría de los equipos mina y planta, esto permite sacar personal de las faenas y crear centros de operación remota en ciudades, reduciendo además el gasto asociado al servicio de las personas.

La tarifa del combustible, la energía y el ácido no mostraron una relación directa con la ubicación de la operación. Esto es importante puesto que es posible realizar negociaciones en busca de mejores precios no importando el lugar donde se producirá el consumo. En cuanto al tamaño de la operación o al consumo del recurso en sí, solo la energía eléctrica mostró una tendencia a la baja de su tarifa ante un mayor consumo. Las cantidades utilizadas de los recursos tienen una tendencia proporcional al tamaño del proceso, no se encontró ninguna economía de escala clara al aumentar la capacidad de la planta o la extracción de la mina.

Los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología permiten focalizar los esfuerzos de negociación en aquellos insumos o servicios que realmente presenten una opción de ahorro. Lo anterior tiene dos consecuencias inmediatas, la primera es que evita estresar los contratos sin potencial de ahorro de tarifa, y la segunda, permite gestionar solo aquellos que sí tienen potencial, priorizando aquellos que impactan mayormente el costo C1.

El hecho de no compararse con el costo o indicador más bajo, sino compararse con el percentil 25, permite eliminar todos los datos fuera de contexto o no representativos de la realidad, que podrían entregar ahorros potenciales sobre dimensionados. Con esta regla, hay seguridad que al menos el 25% de los participantes del mercado seleccionado poseen un costo o uso del recurso igual o menor al referente de comparación.

Los resultados de la competitividad por costo operacional dependen de la profundidad o nivel de análisis realizado, a mayor profundidad de análisis se encuentran mayores brechas gestionables, por ende mayores ahorros potenciales. Una vez identificadas las brechas que generan los potenciales ahorros, es necesario realizar un análisis técnico que permita validar o acotar los ahorros potenciales, basados en argumentos que van más allá de un estudio de comparación de mercado.

## **2. Recomendaciones**

Incorporar el resto de las operaciones del mundo en el análisis de la competitividad, con el objetivo de calcular la brecha total existente en el mercado del cobre para cada operación. Para esto, además es necesario identificar correctamente las correlaciones existentes entre la estructura de costos y las variables macroeconómicas, las cuales pueden tener un gran impacto en los costos de un país a otro.

Mejorar el modelo de estimación de la distancia equivalente, o en su defecto obtener la data real de las operaciones del mercado referente. Mucho de los cálculos se llevaron a la unidad de tonelada\*kilometro para evaluar las brechas existentes, por lo tanto, ante un modelo cuya correlación es del 92%, es posible que el potencial calculado no represente el 100% de la realidad existente (aun así es una buena aproximación).

El potencial existente respecto a la cantidad de energía eléctrica utilizada en las plantas concentradoras y lixiviación, específicamente, en el subproceso de chancado y molienda podría ser mejorado si se contara con información suficiente de la dureza de los materiales que alimentan a la planta. Esto, podría afinar los resultados en cuanto al uso de este recurso.

Buscar una fuente de datos que permita desglosar el paquete “otros insumos”, para gestionar sus principales componentes como: neumáticos, explosivos, aceros de desgaste y bolas de molino. Esto permitirá tener un cálculo más preciso del potencial gestionable de una operación en cuanto al uso de estos insumos. Lo mismo sucede con el paquete “servicios”. Al tener mayor detalle de los insumos o servicios en el mercado, la metodología a aplicar es la misma a la utilizada para los otros ítems principales.

## Índice de figuras

Fig 1. Producción mundial de cobre y participación de Chile. (Cochilco, 2015) .....	7
Fig 2. Precio del cobre (c/lb) 2000 – 2016. (Cochilco, 2016) .....	7
Fig 3 Costo cash C1 promedio de la industria minera. (Cochilco, 2015).....	8
Fig 4 Variación Cambiaria. (Cochilco, 2015) .....	8
Fig 5 Cash cost (C1) promedio de la producción de cobre en Chile. (Cochilco, 2015).....	13
Fig 6 Desglose de costos unitarios de explotación entre 2005 - 2015. (Cochilco, 2015).....	14
Fig 7 Participación porcentual promedio por elemento de gasto dentro del costo de explotación en el periodo 2005 - 2014. (Cochilco, 2015) .....	14
Fig 8 Participación porcentual promedio por elemento de gasto dentro del costo total de explotación en el periodo 2005 - 2014. (Cochilco, 2015) .....	15
Fig 9 Costos y ventas unitarias en la minería del cobre para el periodo 2005 - 2014. (Cochilco, 2015) .....	15
Fig 10 Márgenes operacionales sobre las ventas de productoras de cobres chilena (Máximo, mínimos, promedios y cuartiles). (Cochilco, 2015) .....	16
Fig 11 Costos promedio según tipo de procesamiento de mineral en Chile para el periodo 2005-2014. (Cochilco, 2015).....	17
Fig 12 Participación por elemento de gasto en el costo operacional en función del tipo de tratamiento para el periodo 2005-2014. (Cochilco, 2015) .....	18
Fig 13 Efectos sobre la variación de costos unitarios en la minería para el periodo 2005-2014. (Cochilco, 2015)....	19
Fig 14 Evolución de costo C1 en Chile y distintas regiones del mundo. (Cochilco, 2015) .....	20
Fig 15 Evolución de costo C1 (índice base 2005 = 100) en Chile y distintas regiones del mundo. (Cochilco, 2015) ..	21
Fig 16 Curva de costos C1 promedio de la minería del cobre por países para 2014. (Cochilco, 2015) .....	21
Fig 17 Esquema de una mina de rajo o a cielo abierto (open pit). (Constructora Industrial y Minas, 2016) .....	26
Fig 18 Relación recursos - trabajo para dos operaciones (Elaboración propia). .....	57
Fig 19 Zona gestionable y no gestionable para la cantidad de un recurso. (Elaboración propia). .....	58
Fig 20 Precio del ácido spot. (Cochilco, 2016) .....	81
Fig 21 Cuartil de costos pre créditos para el año 2016, mercado nacional. ....	99
Fig 22 Esquema general para el cálculo del efecto precio y cantidad del ahorro gestionable (Elaboración propia)	100
Fig 23 Áreas de los efectos gestionables sobre el total del potencial ahorro (Elaboración propia) .....	101
Fig 24 Áreas de gastos gestionable y no gestionable (Elaboración propia).....	102
Fig 25 Esquema para el cálculo de $\alpha$ y $\beta$ según las correlaciones del mercado. (Elaboración propia) .....	103
Fig 26 Cuadro de mando integral para comparación nivel pre crédito. (Elaboración propia).....	142
Fig 27 Cuadro de mando integral para comparación nivel procesos. (Elaboración propia) .....	144
Fig 28 Cuadro de mando integral para comparación nivel ítem global. (Elaboración propia) .....	145
Fig 29 Cuadro de mando integral para comparación nivel ítem de gasto. (Elaboración propia) .....	147

## Índice de gráficos

Graf. 1 Curva de costos C1 promedio de la minería del cobre por países para 2015. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	22
Graf. 2 Curva de costos C1 promedio de la minería del cobre de Chile para 2015. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	24
Graf. 3 Proyección de cuartiles por C1 2017 - 2021, industria del cobre. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	25
Graf. 4 Costo promedio mina para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	31
Graf. 5 Costo mina (US\$/ton_mov) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	31
Graf. 6 Costo promedio molienda y flotación para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	38
Graf. 7 Costo molienda y flotación (US\$/t_proc) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	39
Graf. 8 Costo TC/RC (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	39
Graf. 9 Costo promedio leaching para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	41
Graf. 10 Costo leaching (US\$/ton_proc) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	41
Graf. 11 Costo promedio SX-EW para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	42
Graf. 12 Costo SX-EW (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	43
Graf. 13 Costo promedio G&A para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	44
Graf. 14 Costo G&A (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	44
Graf. 15 Costo comercialización (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	45
Graf. 16 Costo promedio pre credito para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	46
Graf. 17 Costo Precredito (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	47
Graf. 18 Variación del costo entre 2012 -2016 por ítem de gasto. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) ..	48
Graf. 19 Aporte de los subproductos para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	48
Graf. 20 Créditos subproductos (c/lb) para la industria chilena periodo: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	49
Graf. 21 Consumo diesel vs ton*km operaciones mineras Chile: 2012 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)& (ENCARE, 2015).....	51
Graf. 22 Costo de mano de obra anual vs capacidad de procesamiento planta: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	52
Graf. 23 Zona no gestionable costo por persona en función del tratamiento 2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	53
Graf. 24 Costo de mano de obra anual vs cobre producido: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	54
Graf. 25 Zona no gestionable costo por persona en función del cobre producido 2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	54

Graf. 26 Costo de mano de obra anual vs altura geográfica: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	55
Graf. 27 Zona no gestionable costo por persona en función de la altura geográfica 2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	56
Graf. 28 Costo de mano de obra anual vs distancia a centro urbano: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	56
Graf. 29 Zona no gestionable Cantidad HH por tonelada movida por kilómetro 2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	59
Graf. 30 Zona no gestionable Cantidad HH por tonelada procesada en planta concentradora. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	59
Graf. 31 Zona no gestionable Cantidad HH por libra procesada en planta SX-EW en planta concentradora. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	60
Graf. 32 Zona no gestionable Cantidad HH mina en función de la producción de Cu. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	60
Graf. 33 Zona no gestionable Cantidad HH planta concentradora en función de la producción de Cu en concentrado. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	61
Graf. 34 Zona no gestionable Cantidad HH planta de lixiviación en función de la producción de Cu en cátodos. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	61
Graf. 35 Zona no gestionable Cantidad HH planta SX-EW en función de la producción de Cu en cátodos. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	62
Graf. 36 Zona no gestionable Cantidad HH G&A en función de la producción de Cu en cátodos. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	62
Graf. 37 HH utilizadas vs tamaño de los procesos: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	63
Graf. 38 HH vs cobre producido: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	64
Graf. 39 HH vs altura geográfica: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	65
Graf. 40 Tarifa del combustible en función del tamaño del movimiento mina. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	67
Graf. 41 Zona no gestionable de la tarifa del combustible en función del tamaño del movimiento mina . Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	67
Graf. 42 Tarifa del combustible en función del volumen de producción. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	68
Graf. 43 Zona no gestionable de la tarifa del combustible en función del volumen de producción . Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	68
Graf. 44 Tarifa del combustible en función la altura geográfica de la operación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	69
Graf. 45 Tarifa del combustible en función de la distancia a centros urbanos. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	69
Graf. 46 Zona no gestionable de la tarifa del combustible en función de la altura geográfica de la operación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	70
Graf. 47 Zona no gestionable de la tarifa del combustible en función de la distancia al centro urbano. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	70
Graf. 48 Zona no gestionable de la cantidad del combustible en función del tamaño de la explotación mina. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	71
Graf. 49 Cantidad del combustible en función del tamaño del proceso. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	72
Graf. 50 Cantidad del combustible en función de la altura de la operación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	73
Graf. 51 Tarifa de energía eléctrica en función del movimiento mina. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	74
Graf. 52 Zona no gestionable tarifa de la energía en función del movimiento mina. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	75
Graf. 53 Tarifa de energía eléctrica en función del tratamiento planta. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	75

Graf. 54 Zona no gestionable tarifa de la energía en función tratamiento planta. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	76
Graf. 55 Tarifa de energía eléctrica en función de la producción de cobre. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	76
Graf. 56 Zona no gestionable tarifa de la energía en función de la producción de cobre. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	77
Graf. 57 Tarifa de energía eléctrica en función de la ubicación geográfica. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	78
Graf. 58 Zona no gestionable cantidad de la energía utilizada planta concentradora en función toneledas procesadas. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	79
Graf. 59 Zona no gestionable cantidad de la energía utilizada planta concentradora en función toneledas procesadas. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	79
Graf. 60 Consumo de energía en función del tamaño del proceso de explotación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	80
Graf. 61 Tarifa de ácido en función de las libras tratadas en planta de lixiviación. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	82
Graf. 62 Tarifa de ácido en función de las libras tratadas en planta SX-EW. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	82
Graf. 63 Tarifa de ácido en función de la distancia a puerto de desembarco de ácido. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	83
Graf. 64 Cantidad de ácido en función de las libras de Cu producidas en el proceso. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	84
Graf. 65 Cantidad de ácido en función de las toneladas procesadas en las pilas. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	84
Graf. 66 Gastos de servicios vs tamaño del proceso: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)...	86
Graf. 67 Gastos de servicios vs producción de cobre: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016)..	87
Graf. 68 Costos de servicios vs altura geográfica: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	88
Graf. 69 Costos de servicios vs distancia a centro urbano: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	89
Graf. 70 Gastos de insumo vs tamaño del proceso: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	91
Graf. 71 Gastos de insumo vs producción de cobre: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	92
Graf. 72 Gastos de insumo vs altura geográfica: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016).....	93
Graf. 73 Gastos de insumo vs distancia a centro urbano: 2013 -2016. Elaboración propia. (Wood Mackenzie, 2016) .....	94
Graf. 74 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel pre credito Elaboración propia. ....	105
Graf. 75 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel proceso. Elaboración propia. ....	107
Graf. 76 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel item de gasto por proceso. Elaboración propia. ....	108
Graf. 77 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel item de gasto por precio. Elaboración propia. ....	110
Graf. 78 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel item de gasto por cantidad. Elaboración propia. ....	111
Graf. 79 Ejemplo: Impacto sobre el C1- evaluación a nivel item de gasto total. Elaboración propia.....	112
Graf. 80 Competitividad potencial a nivel pre credito para la industria nacional del cobre. Elaboración propia...	118
Graf. 81 Competitividad potencial operaciones AMSA nivel pre crédito. Elaboración propia. ....	119
Graf. 82 Competitividad potencial a nivel procesos para la industria nacional del cobre. Elaboración propia. ....	120
Graf. 83 Competitividad potencial a nivel procesos para Operación M03. Elaboración propia.....	121
Graf. 84 Competitividad potencial a nivel de procesos para la Operación M05. Elaboración propia. ....	121
Graf. 85 Competitividad potencial a nivel de procesos para la Operación M06. Elaboración propia. ....	122
Graf. 86 Competitividad potencial a nivel de procesos para la Operación M19. Elaboración propia. ....	122
Graf. 87 Competitividad potencial a nivel de procesos para la Operación M33. Elaboración propia. ....	123
Graf. 88 Comparación resultados de comparación a nivel de proceso vs comparación a nivel item global. Elaboración propia.....	123
Graf. 89 Competitividad potencial a nivel item global consolidado por proceso para la industria nacional del cobre. Elaboración propia.....	124

Graf. 90 Competitividad potencial a nivel ítem global consolidado por ítem de gasto para la industria nacional del cobre. Elaboración propia.....	126
Graf. 91 Competitividad potencial a nivel de ítem global - mina para la Operación M33. Elaboración propia. ....	127
Graf. 92 Competitividad potencial a nivel de ítem global - leaching para la Operación M33. Elaboración propia. ....	127
Graf. 93 Competitividad potencial a nivel de ítem global – SX-EW para la Operación M33. Elaboración propia. ....	128
Graf. 94 Competitividad potencial a nivel de ítem global – G&A para la Operación M33. Elaboración propia. ....	128
Graf. 95 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M03. Elaboración propia. ....	129
Graf. 96 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M05. Elaboración propia. ....	129
Graf. 97 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M06. Elaboración propia. ....	130
Graf. 98 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M19. Elaboración propia. ....	130
Graf. 99 Competitividad potencial a nivel de ítem global – Total para la Operación M33. Elaboración propia. ....	131
Graf. 100 Impacto sobre el potencial de los distintos niveles de comparación. Elaboración propia. ....	132
Graf. 101 Competitividad potencial a nivel ítem de gasto consolidado por ítem de gasto para la industria nacional del cobre. Elaboración propia.....	133
Graf. 102 Competitividad potencial a nivel de ítem de gasto – Mina para la Operación M19. Elaboración propia. ....	135
Graf. 103 Competitividad potencial a nivel de ítem de gasto – Milling para la Operación M19. Elaboración propia. ....	136
Graf. 104 Competitividad potencial a nivel de ítem de gasto – G&A para la Operación M19. Elaboración propia.....	137

## Índice de tablas

Tabla 1: Desglose de costos totales de operación. (Cochilco, 2015) .....	11
Tabla 2: Desglose de costos C1, C2 y C3. (Cochilco, 2015) .....	12
Tabla 3: Efecto sobre el costos de los factores de producción. (Cochilco, 2015) .....	19
Tabla 4: Primer cuartil de costos cashs a nivel mundial para 2015. Elaboración propia con datos de (Wood Mackenzie, 2016).....	23
Tabla 5: Primer cuartil de costos pre créditos a nivel mundial para 2015. Elaboración propia con datos de (Wood Mackenzie, 2016).....	23
Tabla 6: Primer cuartil de costos C1 y pre créditos en Chile para 2015. Elaboración propia con datos de (Wood Mackenzie, 2016).....	24
Tabla 7: Zonas de agrupación de operaciones mineras por cercanía a centro urbano. ....	77
Tabla 8: Niveles de comparación de medir el potencial de competitividad de una operación (elaboración propia).98	
Tabla 9: Datos para ejemplo del uso de la metodología .....	104
Tabla 10: Ejemplo de comparación nivel pre crédito .....	105
Tabla 11: Ejemplo de comparación nivel proceso .....	106
Tabla 12: Ejemplo de comparación nivel de gasto por proceso. ....	108
Tabla 13: Ejemplo de comparación nivel ítem de gasto – análisis por precio .....	110
Tabla 14: Ejemplo de comparación nivel ítem de gasto – análisis por cantidad .....	111
Tabla 15: Ejemplo de comparación nivel ítem de gasto – análisis total .....	112
Tabla 16: Operaciones consideradas en el análisis de competitividad .....	113
Tabla 17: Parámetros $\alpha$ y $\beta$ , para la mano de obra. Elaboración propia. ....	114
Tabla 18: Parámetros $\alpha$ y $\beta$ , para el combustible. Elaboración propia. ....	115
Tabla 19: Parámetros $\alpha$ y $\beta$ , para energía eléctrica. Elaboración propia. ....	116
Tabla 20: Parámetros $\alpha$ y $\beta$ , para: ácido, servicios y otros insumos. Elaboración propia.....	117
Tabla 21: Competitividad potencial a nivel ítem de gasto global desglosado. Elaboración propia.....	125
Tabla 22: Competitividad potencial a nivel ítem de gasto desglosado en P y Q. Elaboración propia. ....	134
Tabla 23: Análisis de los costos operacionales por ítem de gasto a nivel nacional y focos de gestión. (Elaboración propia) .....	139
Tabla 24: Análisis de los costos operacionales pro proceso a nivel nacional y focos de gestión. (Elaboración propia) .....	140

## Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación genérica del gasto Mina. ....	30
Ecuación 2. Ecuación genérica del gasto Molienda y flotación. ....	37
Ecuación 3. Ecuación genérica del gasto de apilamiento y lixiviación. ....	40
Ecuación 4. Ecuación genérica del gasto de SX-EW. ....	42
Ecuación 5. Ecuación genérica del gasto de G&A. ....	43
Ecuación 6. Ecuación genérica del gasto pre crédito. ....	45
Ecuación 7. Ecuación genérica del gasto C1 (cash cost). ....	49
Ecuación 8. Cálculo de la distancia equivalente en función del consumo de combustible y el movimiento mina ....	51
Ecuación 9. Ecuación genérica para límite superior para zona no gestionable del precio de un recurso. ....	53
Ecuación 10. Ecuación genérica para límite superior para zona no gestionable de la cantidad de un recurso. ....	57
Ecuación 11. Ecuación genérica para un gasto separado en gestionable y no gestionable. ....	95
Ecuación 12. Gasto por proceso separado en gestionable y no gestionable. ....	96
Ecuación 13. Gasto pre crédito y cash cost separado en gestionable y no gestionable. ....	96
Ecuación 14. Costo comparable por proceso separado en gestionable y no gestionable. ....	97
Ecuación 15. Efecto precio puro. ....	101
Ecuación 16. Efecto cantidad puro. ....	101
Ecuación 17. Efecto combinado. ....	101
Ecuación 18. Efecto precio y cantidad sobre un ahorro en el gasto. ....	102
Ecuación 19. Gasto gestionable. ....	102
Ecuación 20. Gasto no gestionable. ....	102

## Bibliografía

- Cochilco. (2015). *Caracterización de los costos de la gran minería del cobre*. Santiago de Chile.
- Cochilco. (2015). *Costos y competitividad de la industria minera*. Santiago.
- Cochilco. (2016). *Cochilco*. Obtenido de [www.cochilco.cl](http://www.cochilco.cl)
- Cochilco. (2016). *Mercado del ácido sulfúrico en Chile*. Santiago.
- Constructora Industrial y Minas. (02 de 08 de 2016). *Constructora Industrial y Minas*. Obtenido de <http://constructoraindustrialyminas.com/blog/category/tecnicas-de-mineria/page/4/>
- Davisson, V. (26 de Marzo de 2016). *A pesar del precio Chile sigue siendo competitivo*. Obtenido de Area Minera: <http://www.aminera.com/2016/03/26/pesar-del-precio-chile-sigue-siendo-competitivo-2/>
- ENCARE. (2015). *Estudio Benchmarking de operaciones mineras*.
- Revista Capital. (04 de Abril de 2013). *Capital on line*. Obtenido de Sitio web de revista Capital: <http://www.capital.cl/negocios/2013/04/04/100453-que-tan-competitivos-somos>
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia - Wood Mackenzie*. Obtenido de [https://en.wikipedia.org/wiki/Wood\\_Mackenzie](https://en.wikipedia.org/wiki/Wood_Mackenzie)
- Wood Mackenzie. (2016). *Copper mine compsite costs 2015*. Obtenido de Wood Mackenzie: <http://www.woodmac.com/>
- Wood McKenzie. (s.f.). *Wood Mckenzie, Theme: Copper*. Obtenido de <http://www.woodmac.com/themes/copper>