



UNIVERSIDAD CATOLICA  
DE TEMUCO

# Los Recursos Minerales Industriales Y Su Valorización Inicial

Dr. Haroldo Lledó Vásquez

[hlledov@yahoo.com](mailto:hlledov@yahoo.com)

Universidad Católica de Temuco



UNIVERSIDAD CATOLICA  
DE TEMUCO

# Temario

- Generalidades y características de los RMI
- Comparación entre RMI y recursos metálicos
- Los RMI en Chile
- Valorización de los RMI
  - Arcillas
  - Litio

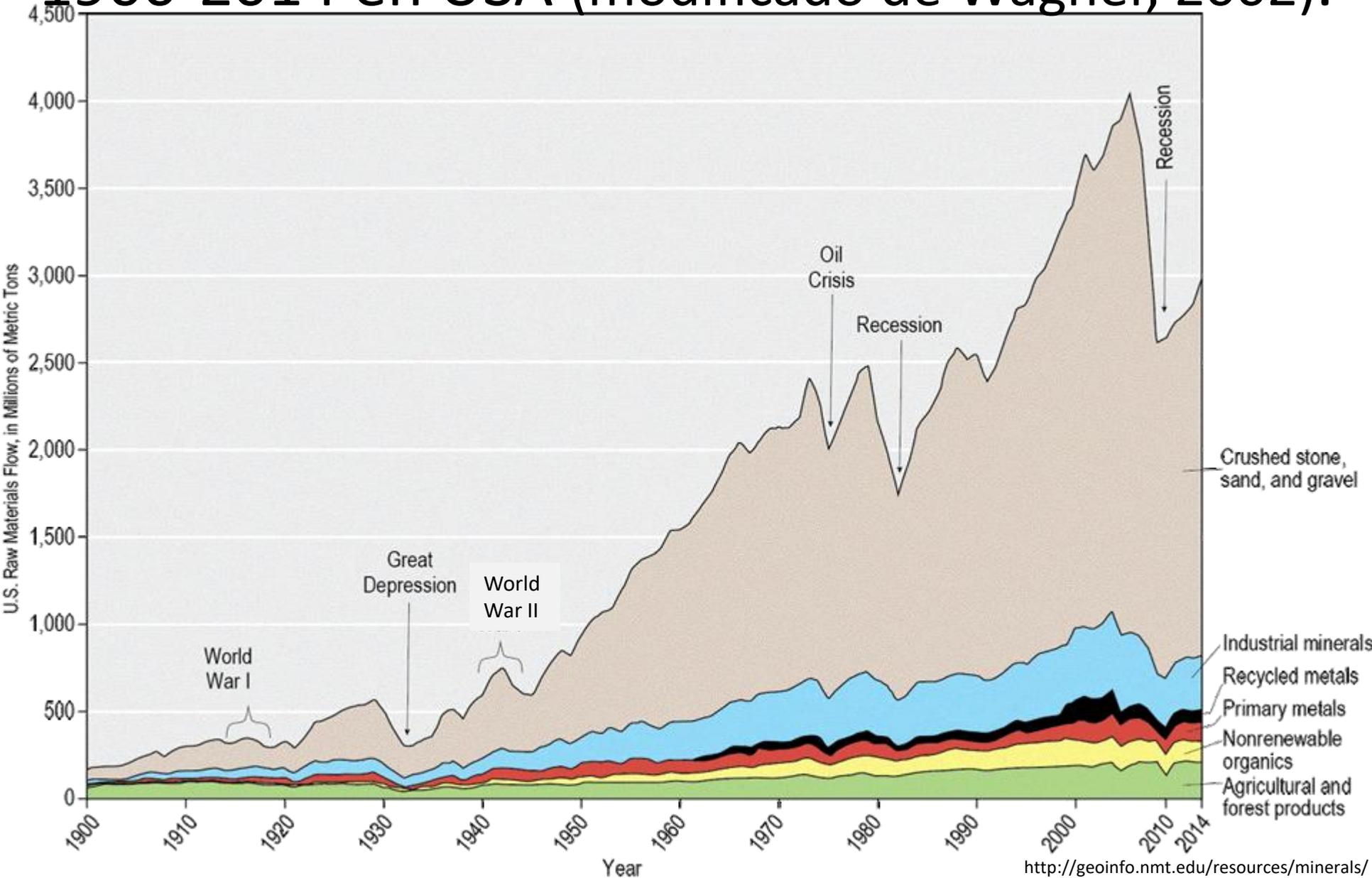
# ¿Qué son los Recursos Minerales Industriales?

- Son cualquier material geológico (roca, mineral, líquido, o gas) con valor comercial minable que **no tiene un uso** como metal, combustible, o gema. Ejemplos:
- Grafito, diamantes de uso industrial, zeolitas, boratos, sal, nitratos, fosforitas, calizas, áridos, rocas ornamentales, cuarzo, circón, caolín, talco, yeso, pumicita y arcillas.
- Recursos metálicos: Au, Cu, **Fe, Al, Cr**, Hg, Pb, Zn, Sn...
- Algunos recursos pertenecen a ambos tipos y se diferencian por su uso: cromitas, bauxitas, y hematitas.

# Características de los Minerales Industriales

- La explotación de los Minerales Industriales está guiada por el desarrollo de mercados.
- Sin un mercado, los depósitos de minerales industriales son sólo una curiosidad geológica.
- El mercado local, sus especificaciones por uso, y énfasis en la calidad diferencian los RMI de los metálicos.
- Comúnmente se usan en su estado natural.

# Volumen de materias primas en Mtons entre 1900-2014 en USA (modificado de Wagner, 2002).



# Características Geológicas de los Minerales Industriales

- Son comunes
- Tienen grandes volúmenes de recursos
- Son de fácil acceso
- Pueden ser minados en operaciones pequeñas.



# Características Económicas Generales de los Minerales Industriales

- Su desarrollo requiere de inversiones más bajas.
- Son recursos de costos y valorizaciones menores
  - Algunos minerales especiales (son la excepción) pueden tener valores mayores que los metales.
- El sistema de precios varía desde netamente locales a internacionales.
- Tienen un riesgo menor.
- Son más eficientes (generan desmontes muy pequeños o inexistentes).

# Características Tecnológicas de los Minerales Industriales

- Requieren menos procesamiento
- Requieren menos energía
- Perturban menos el medioambiente
- Poseen propiedades excepcionalmente atractivas para la industria.



# Características Generales de los Minerales Industriales RMI

**La Geología dicta la existencia del depósito**

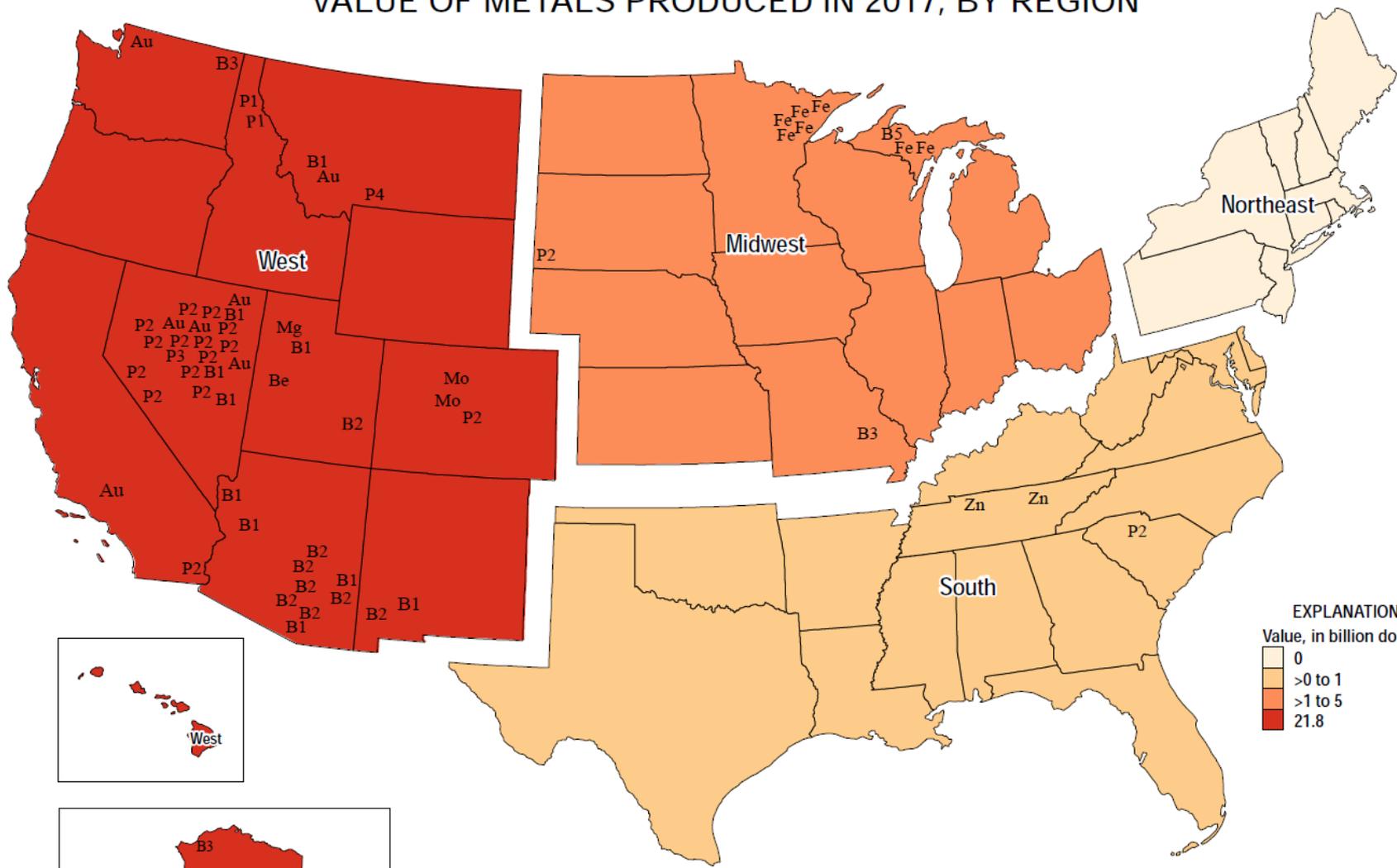


**Transporte  
50 a 70% costo final**

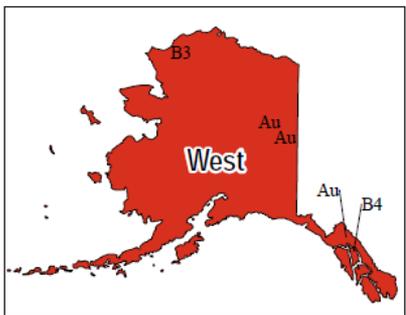
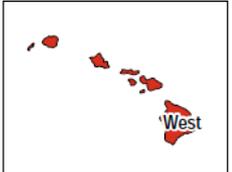
**El Mercado dicta el desarrollo del recurso**



# VALUE OF METALS PRODUCED IN 2017, BY REGION

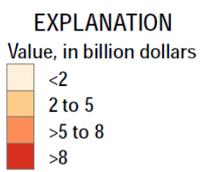
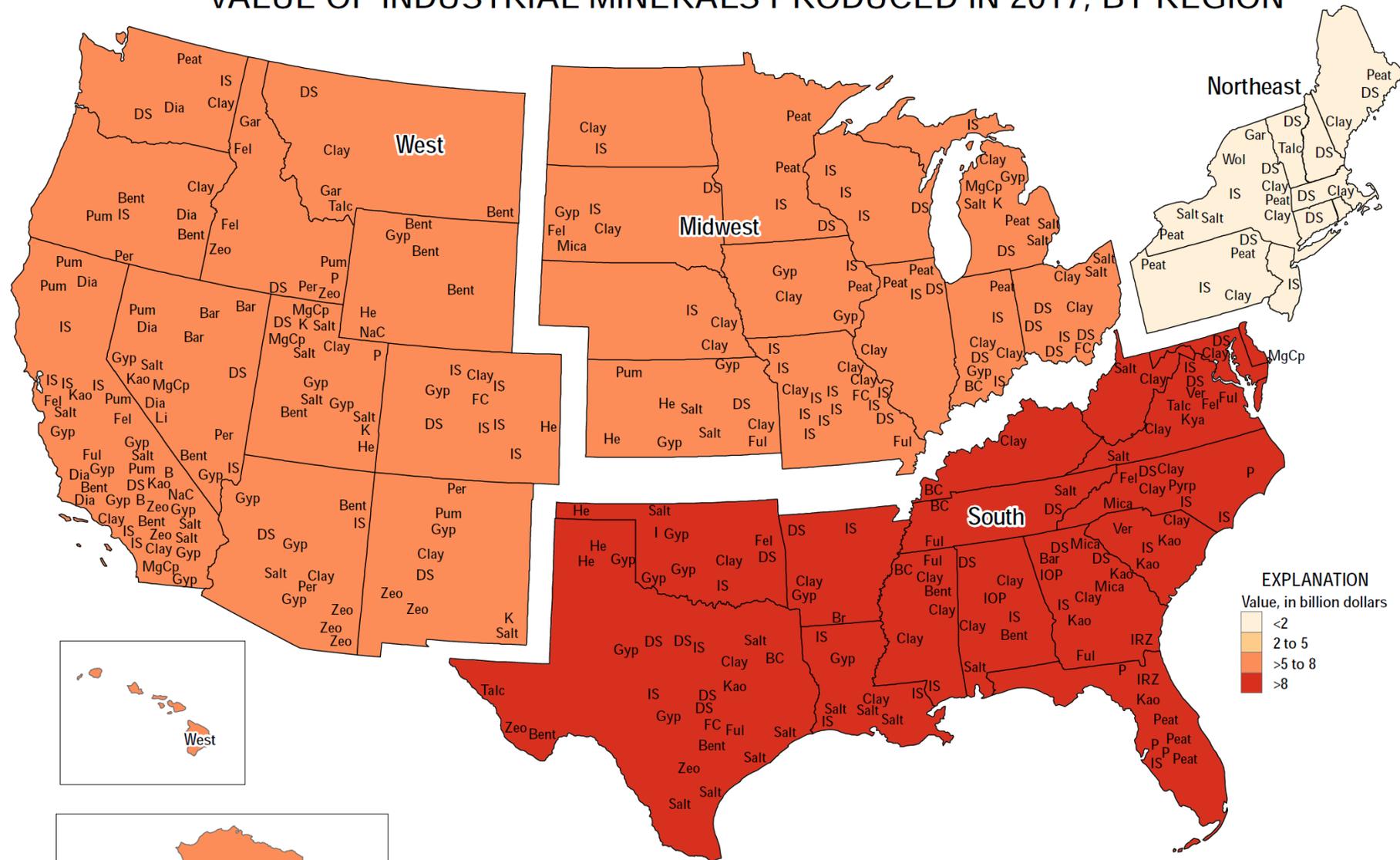


**EXPLANATION**  
 Value, in billion dollars  
 0  
 >0 to 1  
 >1 to 5  
 21.8



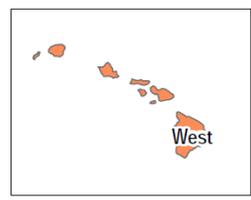
EXPLANATION							
Au	Gold	B4	Zinc and silver + lead and gold	Fe	Iron ore	P2	Gold and silver
B1	Copper and molybdenum ± gold and silver	B5	Nickel, copper, and cobalt	Mg	Magnesium	P3	Gold and silver ± base metals
B2	Copper ± silver	B6	Lead and zinc	Mo	Molybdenum	P4	Platinum and palladium+ gold and silver
B3	Lead and zinc ± copper ± silver	Be	Beryllium	P1	Silver ± base metals ± gold	Zn	Zinc

# VALUE OF INDUSTRIAL MINERALS PRODUCED IN 2017, BY REGION



**EXPLANATION**

B	Borates	DS	Dimension stone	I	Iodine	Li	Lithium	Pum	Pumice
Bar	Barite	FC	Fire clay	IOP	Iron oxide pigments	MgCp	Magnesium compounds	Pyrp	Pyrophyllite
BC	Ball clay	Fel	Feldspar	IRZ	Ilmenite, rutile, and zircon	Mica	Mica	Salt	Salt
Bent	Bentonite	Ful	Fuller's earth	IS	Industrial sand	NaC	Soda ash	Talc	Talc
Br	Bromine	Gar	Garnet	K	Potash	P	Phosphate rock	Ver	Vermiculite
Clay	Common clay	Gyp	Gypsum	Kao	Kaolin	Peat	Peat	Wol	Wollastonite
Dia	Diatomite	He	Helium	Kya	Kyanite	Per	Perlite	Zeo	Zeolites



# Comparación entre los RMI y recursos metálicos en USA

<b>Tabla 1. Tendencias de la Industria Minera en EE.UU.</b>							
Producción Minera Total (millones de dólares):	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017e</b>
Metales	36.000	34.700	29.900	28.900	24.400	23.500	26.300
<b>Minerales Industriales</b>	<b>38.800</b>	<b>41.100</b>	<b>43.100</b>	<b>49.600</b>	<b>48.200</b>	<b>47.300</b>	<b>48.900</b>
Carbón	44.900	40.600	36.700	34.800	28.500	22.300	24.500

U.S. Geological Survey, 2018, Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/70194932>.

# RMI en Chile

- Según datos de Sernageomín, durante el año 2016, la minería no metálica involucró 34 tipos de rocas y/o minerales industriales, con una producción total de 27.3 millones de toneladas.



# Producción de RMI en Chile

MINERALES INDUSTRIALES Ton. Métricas	2012	2013	2014	2015	2016
ARCILLAS (Caolín 75%, bauxítica 24%, bentonita 2%, plástica 0%)	68.238	65.458	77.986	90.600	80.401
CARBONATO DE CALCIO (Caliza 93%, Coquina 6.5%, cc blanco 1%)	6.657.824	6.454.017	6.849.546	6.696.269	7.376.096
CLORURO DE SODIO	8.057.130	6.576.960	10.553.440	11.831.116	8.139.914
COMPUESTOS DE BORO	449.572	582.074	496.533	517.584	558.854
COMPUESTOS DE LITIO (carbonato 86%, Hidróxido 8%, Cloruro 6%)	71.594	60.646	62.253	56.375	78.182
COMPUESTOS DE POTASIO	1.686.408	1.901.215	1.870.301	1.889.075	2.087.828
DIATOMITA	23.021	27.092	31.000	26.186	26.937
FELDESPATO	6.399	3.874	4.233	6.577	6.352
NITRATOS	822.584	759.384	722.131	795.330	805.873
PERLITA	-	4.800	800	3.000	5.500
PUMICITA	826.779	800.031	809.879	804.121	840.976
RECURSOS SILÍCEOS (Arena silicea 71.5%, cuarzo 28.5%)	1.267.476	1.358.148	1.193.267	1.257.713	1.311.305
ROCAS FOSFÓRICAS (Apatita 47%, Fosforita 27%, Guano 26%)	15.601	14.956	22.859	19.549	6.205
ROCAS DE ORNAMENTACIÓN (Travertino 43%, Marmol 57%)	6.752	9.122	8.629	5.400	7.687
SULFATO DE COBRE	8.814	8.869	10.292	9.496	11.410
TURBA	346	527	2.276	2.306	3.621
YESO	799.064	1.015.158	843.490	860.075	934.033
YODO	17.494	20.656	18.989	21.179	18.444
ZEOLITA	250	159	92	-	386

Chile destaca a nivel mundial como el mayor productor de yodo, carbonato de litio y nitratos naturales.

# Algunos Precios RMI

US\$/ton

PRODUCTO Y ESPECIFICACIÓN	2012		2013		2014		2015		2016	
	Min.	Max.								
<b>CAOLÍN Paper coating grade, bulk, C&amp;F Europe, Brazil</b>	188	242	195	252	195	265	205	265	219	284
<b>BORATOS</b>										
<b>Ácido bórico, grado técnico FOB Chile</b>	1,250	1,309	620	900	620	900	620	900	620	900
<b>ULEXITA FOB Chile</b>	692	734	692	734	692	820	720	820	720	820
<b>CARBONATO DE CALCIO</b>										
<b>Carbonato de calcio, molido (1,1μ-0,7μ) Fob USA</b>	220.5	319.7	220.5	319.7	220.5	352.7	242.5	352.7	nd/na	
Carbonato de calcio, molido (50μ-22μ) Fob USA	23.1	28.7	23.1	28.7	23.1	33.1	29.8	33.1	nd/na	
<b>CLORURO DE POTASIO 60% K2O Granular North America bulk</b>	430	590	427	590	309	496	386	452	342	430
Diatomita, calcinada filtrante US	575	640	575	640	575	670	605	670	635	670
<b>FELDESPATO sódico, grado cerámico malla 170-200 USA</b>	165	198	165	198	165	198	165	198	165	198
NITRATO DE SODIO 98%, Ex Store	706	732	730	757	691	797	621	666	620	664
<b>YODO crudo &gt; 99,5%</b>	65,000	85,000	45,000	55,000	31,000	55,000	27,500	32,000	20,500	30,000
<b>CARBONATO DE SODIO Natural</b>	210	230	210	230	210	340	276	320	270	300
<b>CARBONATO DE LITIO, grado técnico/USA</b>	5,512	6,614	6,614	7,716	5,953	7,716	6,000	7,000	6,200	16,000
Espodumena conc. > 7.25% LiO2 CIF Asia bulk	720	770	720	770	720	775	725	780	740	780
<b>FOSFATO de diamonio DAP/FOB Gulfo de Mexico USA</b>	495	500	350	360	375	549	475	505	475	500

Fuente: Anuario de estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1997-2016. Cochilco

# Comparación Exportaciones de recursos metálicos y los RMI

Exportaciones en Millones de US\$	2012	2013	2014	2015	2016	%
<b>MINERÍA METÁLICA (total)</b>	<b>47.028</b>	<b>44.120</b>	<b>42.141</b>	<b>33.063</b>	<b>29.628</b>	<b>95.3%</b>
COBRE	41,779	39,738	37,968	30,371	26,767	86.1%
ORO	1,678	1,416	1,087	800	841	2.7%
MOLIBDENO	1,670	1,177	1,618	906	921	3.0%
HIERRO	1,348	1,376	1,140	718	829	2.7%
PLATA	510	380	276	213	214	0.7%
ZINC	43	34	51	55	56	0.2%
<b>MINERÍA NO METÁLICA (Total)</b>	<b>1,482</b>	<b>1,317</b>	<b>1,232</b>	<b>1,053</b>	<b>1,117</b>	<b>3.6%</b>
YODO	907	842	693	507	413	1.3%
SALITRE	209	118	127	105	104	0.3%
Salitre sódico	136	66	74	75	82	0.3%
Salitre potásico	73	52	54	30	22	0.1%
CARBONATO DE LITIO	247	226	229	245	465	1.5%
SAL MARINA Y DE MESA	102	119	173	189	130	0.4%
BORATOS NATURALES EN BRUTO	15	12	9	7	5	0.0%
HARINAS SILÍCEAS	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.0%
OTROS	200	145	144	285	358	1.2%
<b>TOTAL EXPORTACIONES MINERAS</b>	<b>48,709</b>	<b>45,583</b>	<b>43,516</b>	<b>34,400</b>	<b>31,103</b>	<b>100%</b>

# Valorización de RMI, Arcillas

- Son depósitos de origen sedimentario-clástico y se forman principalmente en un ambiente lacustre o glacio-lacustres.
- Los minerales de arcilla se clasifican en los siguientes grupos: **Caolinita, esmectita (montmorillonita), illita** y clorita.
- Las arcillas de estos grupos tienen propiedades físicas y químicas, que las hacen útiles para usos diferentes.
- Consecuentemente, los recursos se clasifican según su arcilla dominante en: **caolin, bentonita (montmorillonita), arcillas plásticas (caolinita+illita) y arcillas comunes (ladrilleras).**

# Valorización de RMI, Arcillas

<b>Tabla 2. Estadísticas Minerales de Arcilla</b>							
Precio promedio (dolares por tonelada)	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017e</b>
Arcilla Plástica	46	46	43	44	46	45	46
Bentonita	61	62	65	69	74	75	75
Arcilla común	12	12	12	11	13	15	15
Arcilla Bauxítica	30	27	18	17	14	13	13
Arcilla blanqueadora (fuller's Earth)	100	92	88	86	106	93	96
Caolín	143	149	146	144	151	160	160

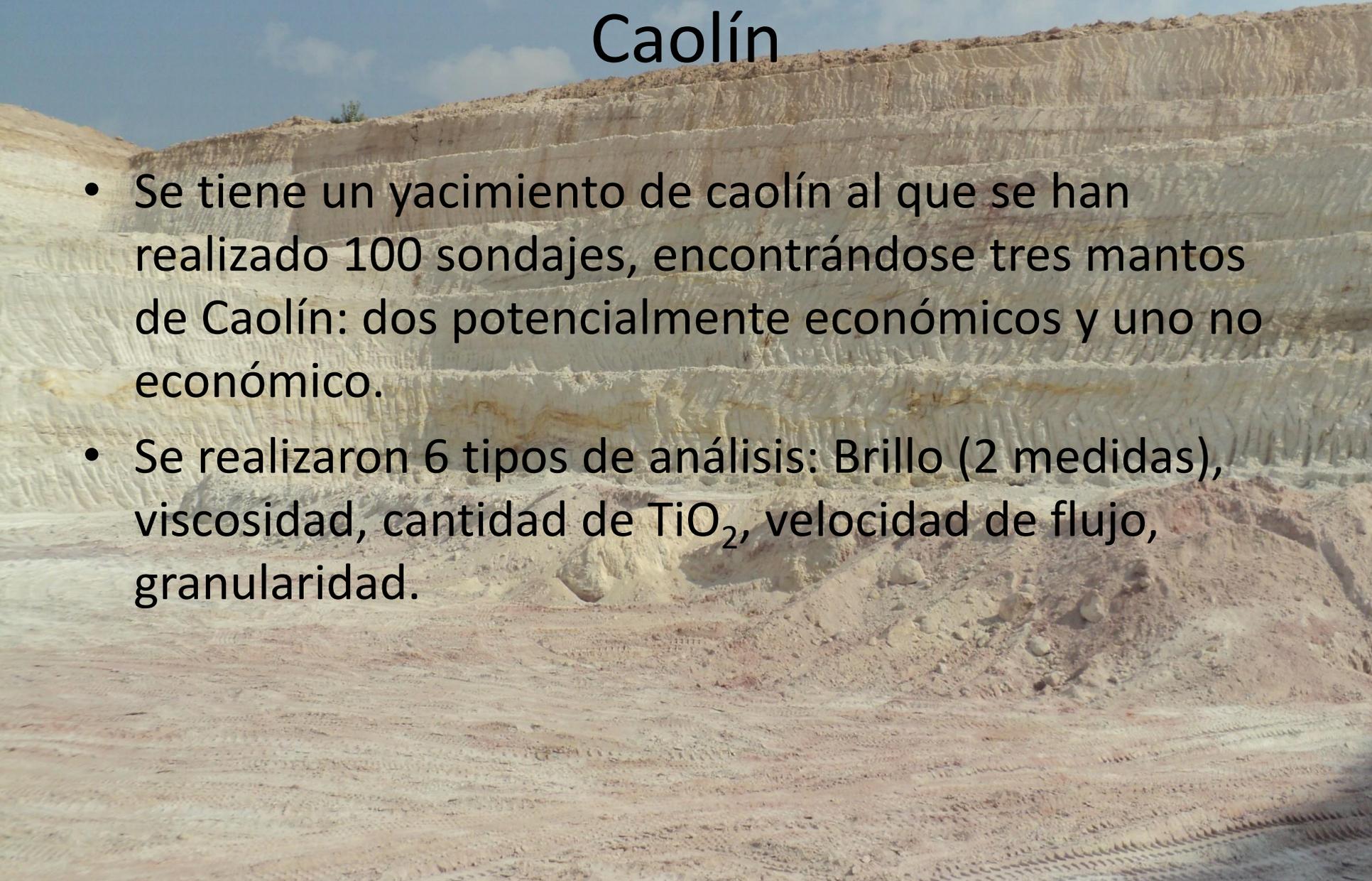
U.S. Geological Survey, 2018, Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/70194932>.

# Valorización de Los RMI

- En general, la evaluación de RMI se realiza de modo similar a la de los recursos metálicos.
- La diferencia radica en que el recurso total se restringe de acuerdo a las especificaciones técnicas propias para cada uso.

# Ejemplo, Valorización de Yacimiento de Caolín

- Se tiene un yacimiento de caolín al que se han realizado 100 sondajes, encontrándose tres mantos de Caolín: dos potencialmente económicos y uno no económico.
- Se realizaron 6 tipos de análisis: Brillo (2 medidas), viscosidad, cantidad de  $\text{TiO}_2$ , velocidad de flujo, granularidad.



UOM Geology Computer Study

North	8800	East	12000
File	dh010	ID: 93-10	

Drilled on 16 July 1994  
 Drilled by Reliable Drilling Ltd  
 Laboratory Analysis by Core Analysers  
 Computer Data Processing by Mentor  
 Figure 10 - 1

Lin Num ber	Strata Roof		Thick- ness Metres	Lithological Definitions		Quality Data...					
	Depth	Elev.		Code	Descriptions	Brit1	Brit2	Flow	Viscos	Ti-02	Grit%
1	0.00	145.0	26.00	ovb	Overburden						
2	26.00	119.0	6.00	ks2	Kaolin : Seam 2	86.70	90.40	68.75	255.00	1.08	0.40
3	32.00	113.0	6.00	pt2	Parting within Seam 2						
4	38.00	107.0	2.00	pt2	Parting within Seam 2						
5	40.00	105.0	6.00	ks3	Kaolin : Seam 3	83.90	89.10	72.25	265.00	0.46	1.10
6	46.00	99.0	4.00	ks3	Kaolin : Seam 3	82.80	89.10	72.75	265.00	0.46	0.20
7	50.00	95.0	4.00	ntk	Low Quality - Not Tested						
8	54.00	91.0	3.00	nck	Non-Commercial Kaolin						
9	57.00	88.0	5.00	nck	Non-Commercial Kaolin						
10	62.00	83.0	2.00	ntk	Low Quality - Not Tested						
11	64.00	81.0	10.00	snd	Sand						
12	74.00	71.0	0.00	eoh	End of Drillhole						

Figure 10.1 A typical borehole report showing location, stratigraphy and clay quality parameters.

# Ejemplo de Distribución de Sondajes

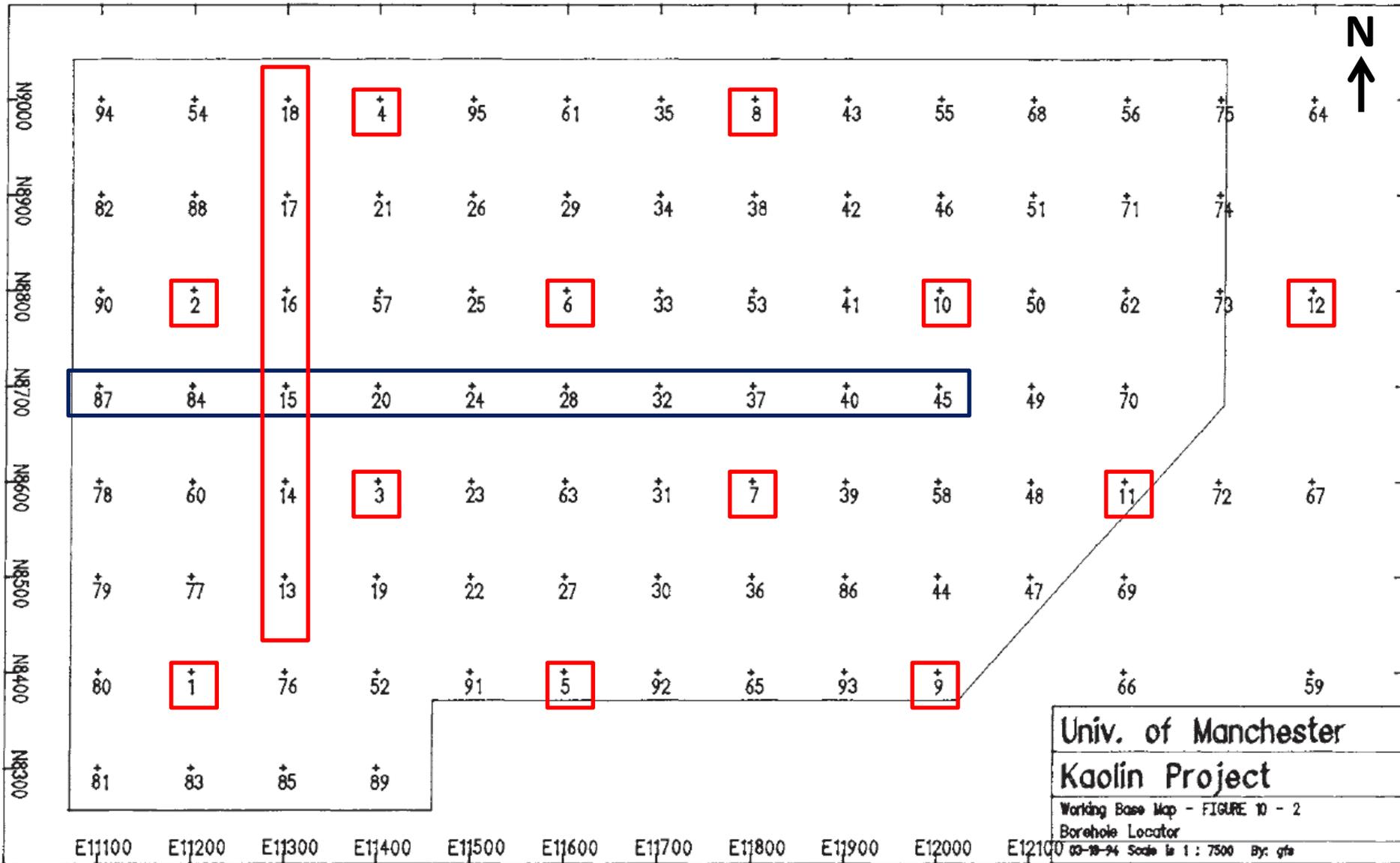
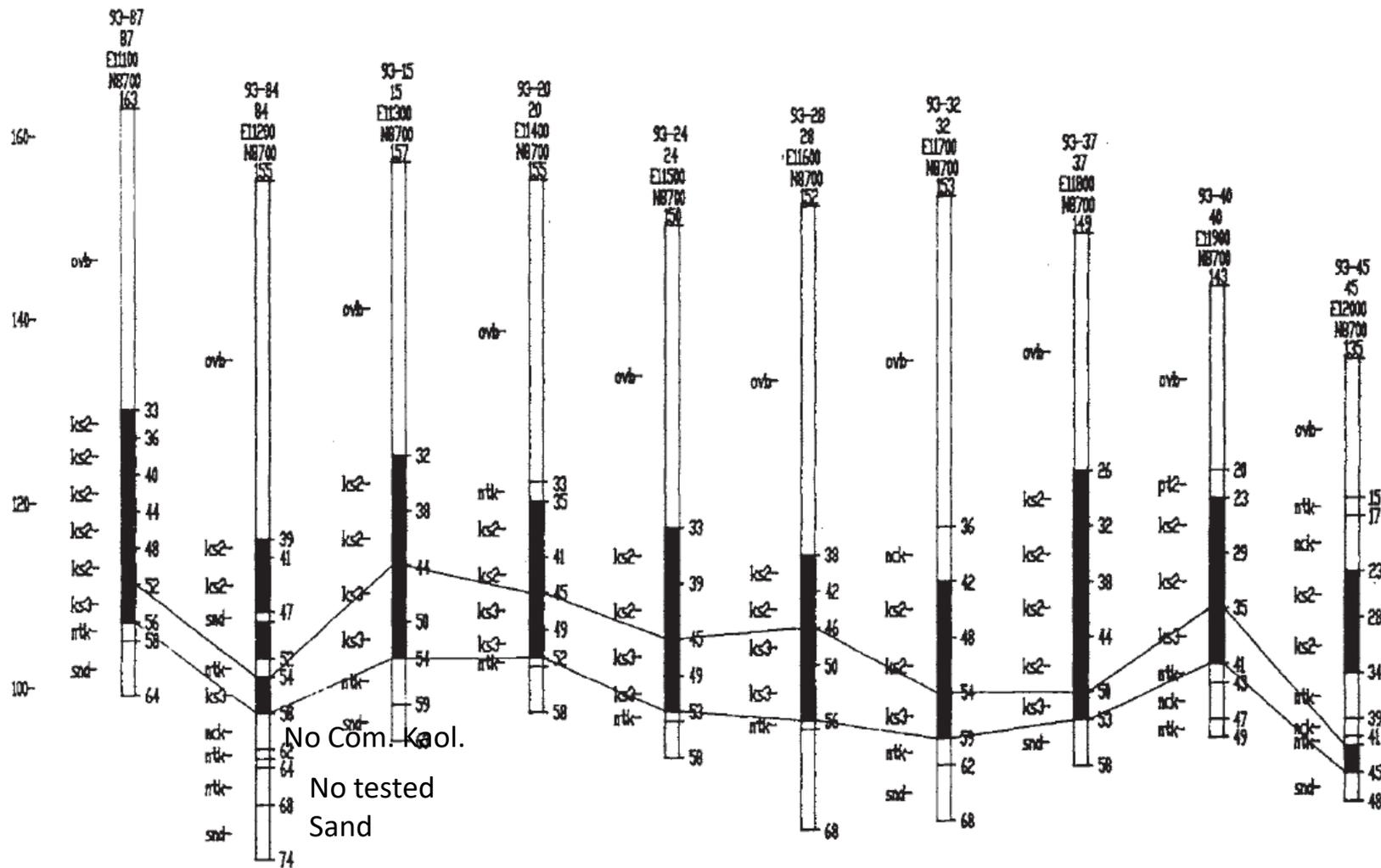


Figure 10.2 Basemap with borehole locations and the property boundary.



Cornwall Kaolin Project / Test

Scale : Horiz 1 : 4000 Vert 1 : 600

**Figure 10.3** Display of 10 boreholes lying along an east–west cross-section of the property, which can be used for seam correlation and to check errors in data input. The lithographical codes are as follows: oub = overburden; Ks2 = Kaolin seam 2; Ks3 = Kaolin seam 3; pt2 = parting within seam 2; ntk = low quality, not tested; nck = non-commercial kaolin; snd = sand.

# MODEL EVALUATION AND TESTING

03-21-1994

UOM Geology Computer Study

16:33:23

MODEL : ALLSEAMS.MDL

Caolín

Total In-Situ Kaolin (All Seams)

Hectares = 83.14 Volume = 23,624,562 Tonnes Density = 1.98  
 Overburden = 28,672,860 CuMtr 1.21 CuMtr per Tonne  
 Number of cells : In Model = 1414 Accepted : 1414 Rejected : 0

### Constraints and Histogram Splits

Variable	Model Constraints(*)		Histogram Specifications			Weighted Statistics	
	Z-Minimum	Z-Maximum	Band-From	Band-Size	Band-To	Averages	Std.Dev.
Thick	4.00	32.00	3.00	3.00	33.00	14.35	4.80
Burden	6.00	91.00	0.00	10.00	100.00	34.49	18.00
Brit1	79.25	85.85	79.20	0.80	86.40	83.44	0.89
Brit2	88.00	91.95	88.00	0.40	92.00	90.39	0.57
Flow	70.68	76.10	70.20	0.60	76.20	73.72	1.00
Viscos	180.04	564.61	160.00	40.00	600.00	384.17	59.89
Ti-02	0.13	1.32	0.10	0.20	1.40	0.54	0.13
Grit%	0.43	11.20	0.00	2.00	12.00	3.57	1.35

Espesor Manto caolín  
Cubierta



03-21-1994

UOM Geology Computer Study

16:35:49

MODEL : ALLSEAMS.MDL

Caolín

All Kaolin Seams - WITH CONSTRAINTS

Hectares = 57.18 Volume = 15,035,801 Tonnes Density = 1.98  
 Overburden = 13,689,816 CuMtr 0.91 CuMtr per Tonne  
 Number of cells : In Model = 1414 Accepted : 963 Rejected : 451

### Constraints and Histogram Splits

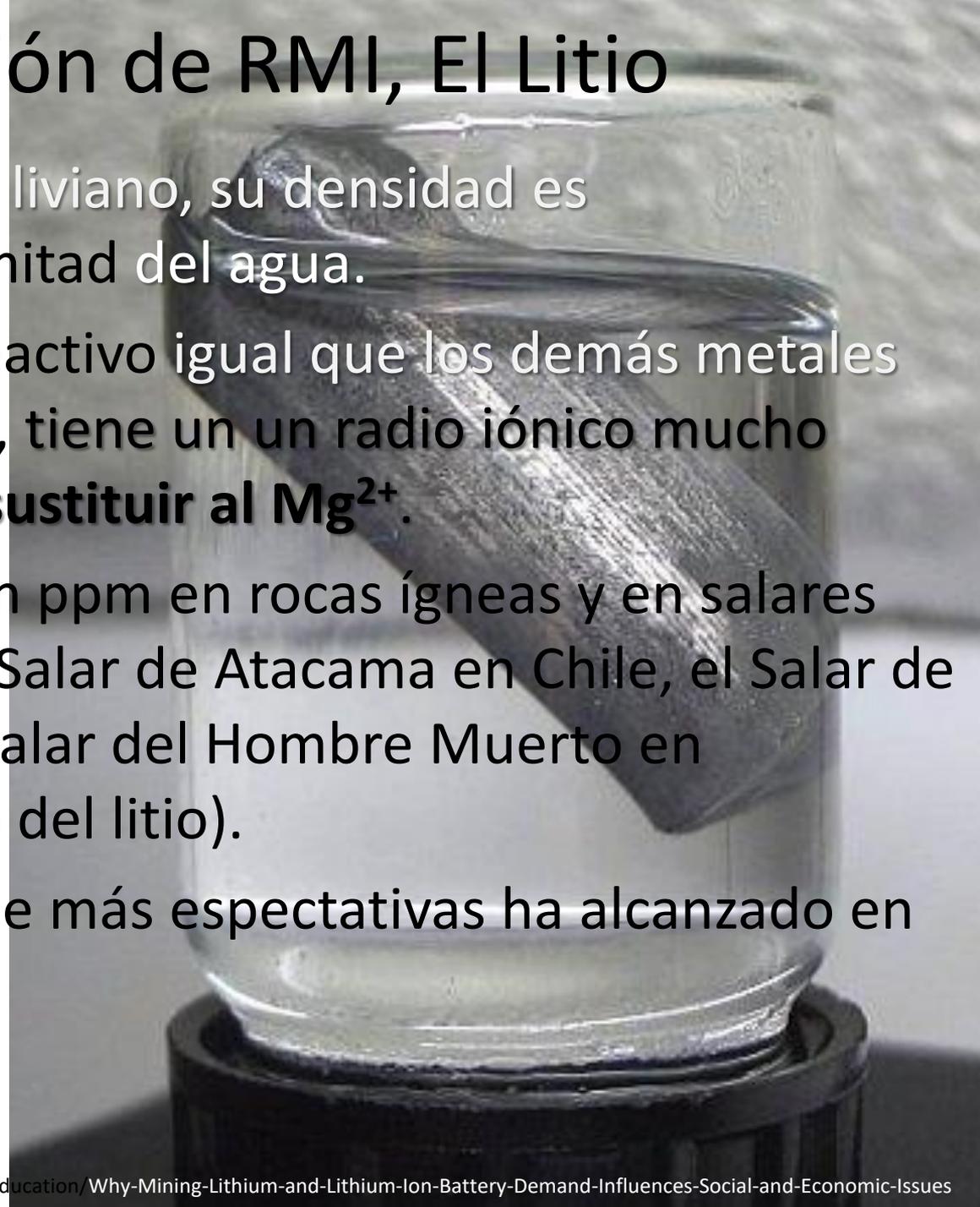
Variable	Model Constraints(*)		Histogram Specifications			Weighted Statistics	
	Z-Minimum	Z-Maximum	Band-From	Band-Size	Band-To	Averages	Std.Dev.
Thick	4.00	32.00	3.00	3.00	33.00	13.28	4.67
Burden	6.00	40.00*	0.00	10.00	100.00	23.94	8.53
Brit1	79.25	85.85	79.20	0.80	86.40	83.25	0.87
Brit2	88.50*	91.95	88.00	0.40	92.00	90.48	0.56
Flow	70.68	76.10	70.20	0.60	76.20	73.83	1.04
Viscos	180.04	564.61	160.00	40.00	600.00	384.20	66.26
Ti-02	0.13	1.32	0.10	0.20	1.40	0.51	0.12
Grit%	0.43	11.20	0.00	2.00	12.00	3.34	1.33

Espesor Manto caolín  
Cubierta



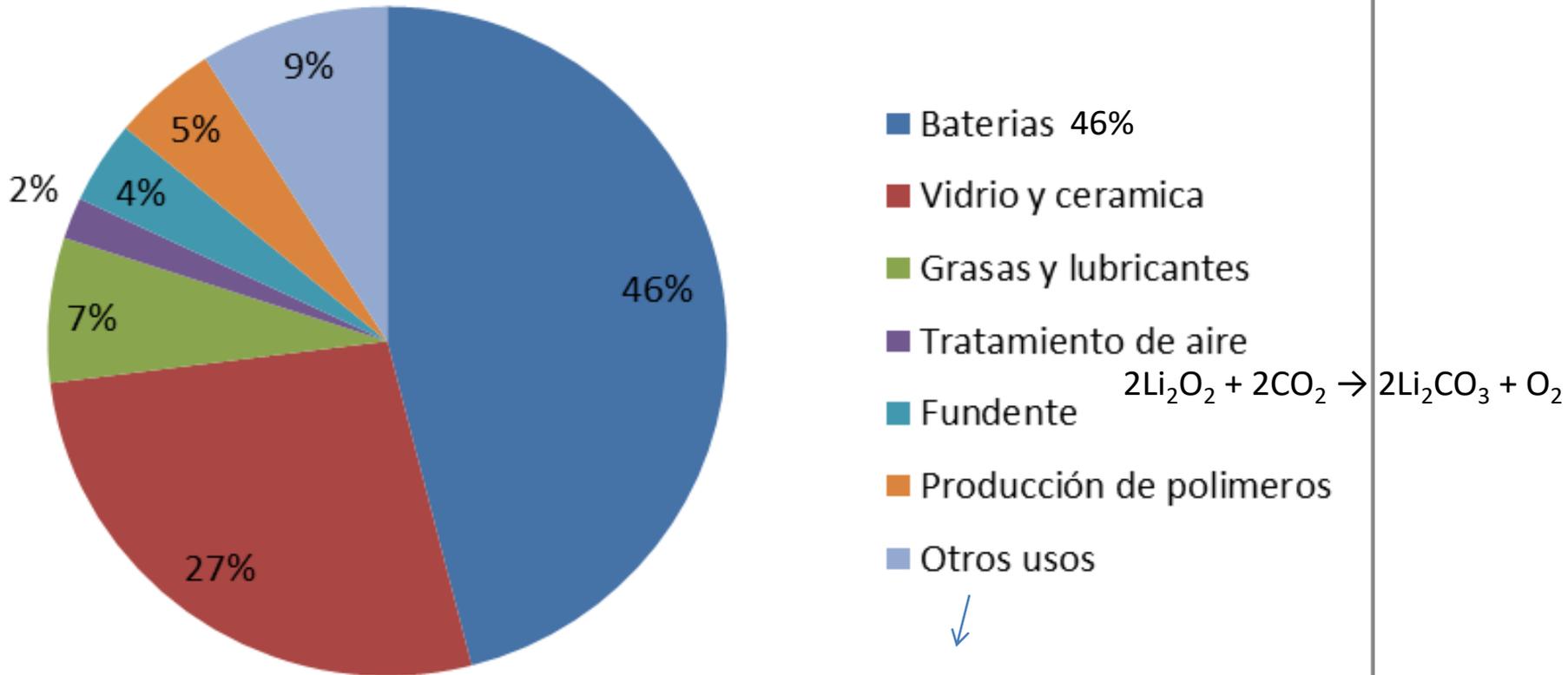
# Valorización de RMI, El Litio

- El litio es el metal más liviano, su densidad es aproximadamente la mitad del agua.
- Es univalente y muy reactivo igual que los demás metales alcalinos, sin embargo, tiene un radio iónico mucho menor, **el que puede sustituir al  $Mg^{2+}$** .
- El Litio se encuentra en ppm en rocas ígneas y en salares naturales, como en el Salar de Atacama en Chile, el Salar de Uyuni en Bolivia, y el salar del Hombre Muerto en Argentina (El triángulo del litio).
- El litio es el recurso que más expectativas ha alcanzado en las últimas décadas.



# Usos del Litio

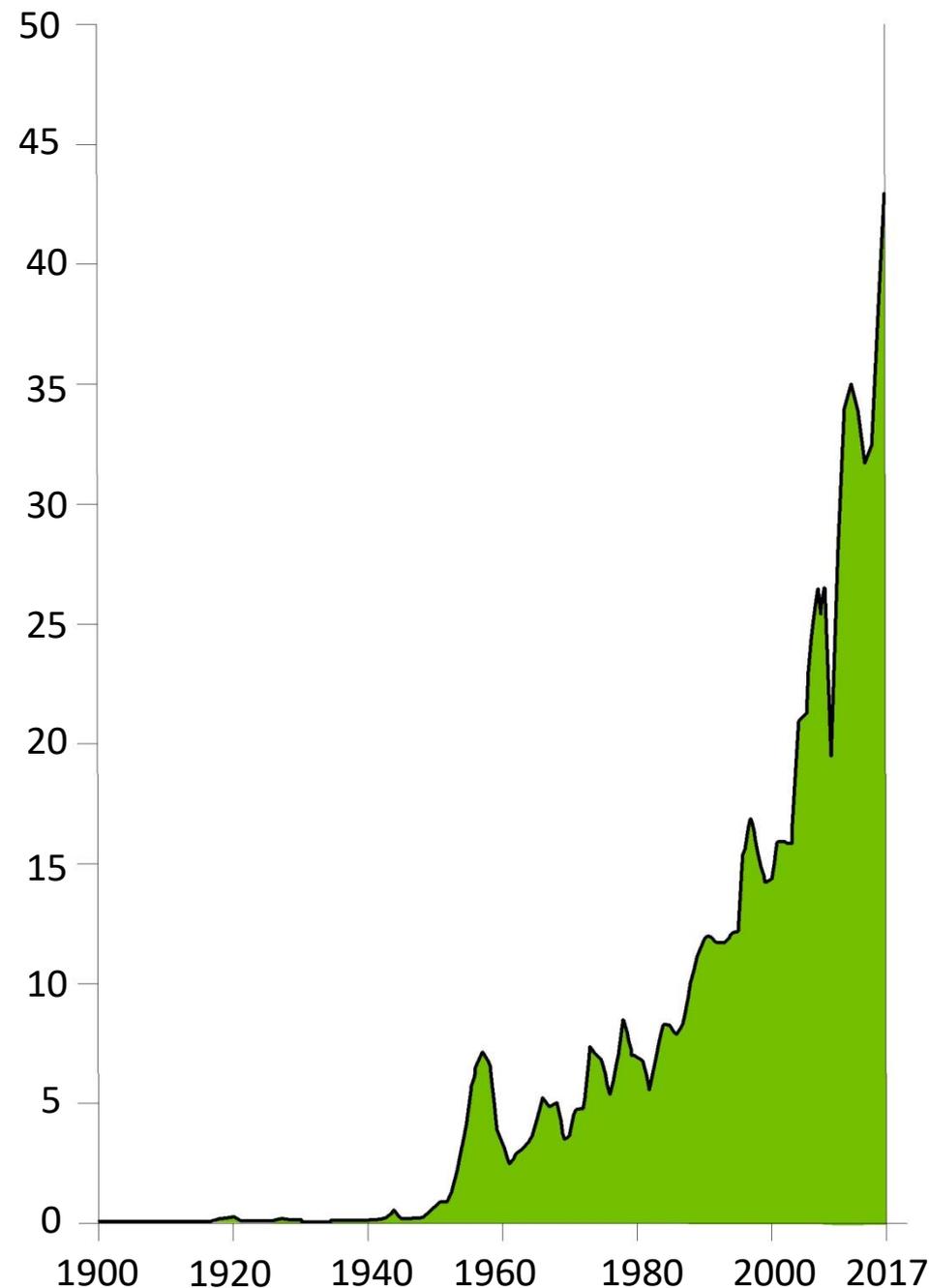
Fuente: U.S. Geological Survey, 2018, Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/70194932>.



## Fusión Nuclear (Fusión de D y T, recurso estratégico)

$2\text{H} + 3\text{H} \rightarrow 4\text{He} + \text{neutron}$ , genera 17 MeV, E. nuclear limpia  
 $6\text{Li} + \text{n} \rightarrow 4\text{He} + 3\text{H}$ , en las bombas H, ITER 1985,2005,2007,2025,2035.

## Medicina (bipolaridad).



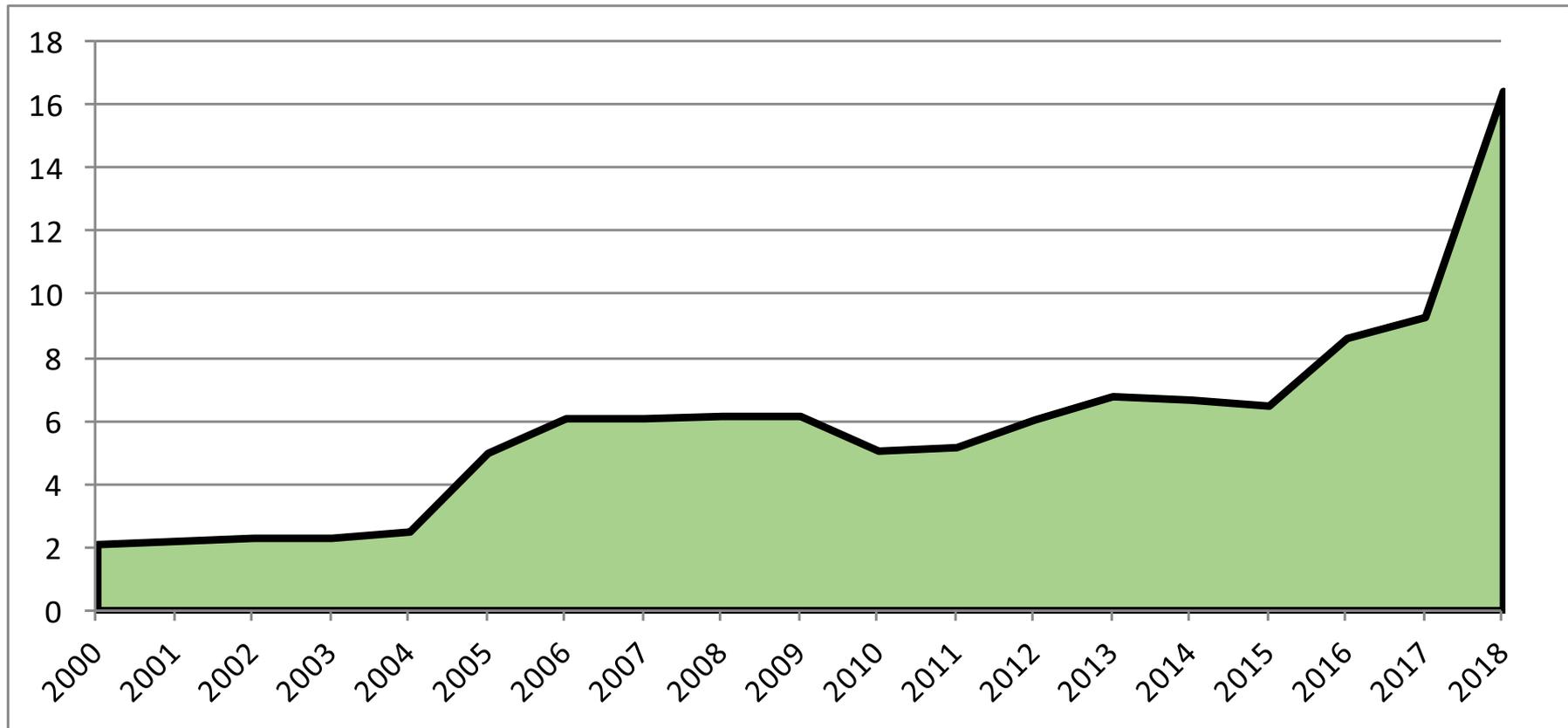
# Demanda por Litio

- **Demanda global creciente:** ~7.5% anual, baterías recargables y nuevas aplicaciones.
- Según el Banco Central, entre 1998 y 2008 las exportaciones mineras de este metal han crecido desde los US\$39,3 millones a los US\$220,2 es decir se han quintuplicado.
- Chile y Argentina entregan ~46% del litio mundial.

Modificado de [www.mdpi.com/2075-163X/2/1/65/pdf](http://www.mdpi.com/2075-163X/2/1/65/pdf)

Mohr, S.H., Mudd, G.M. and Giurco, D., 2012 Lithium Resources and Production: Critical Assessment and Global Projections. Minerals 2012, 2, 65-84; doi:10.3390/min2010065

# Precio anual de Carbonato de Litio en Miles de US\$/Ton



Fuente Cochilco en base a datos de Industrial Minerals del USGS

# Minerales de Litio

- Existen 146 minerales que contienen litio, pero sólo tres son considerados mena, todos pegmatíticos:
- Espodumena:  $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$  (piroxeno)
- Petalita:  $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$  (feldespatoide) y
- Lepidolita:  $\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al},\text{Si})_3\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$  (mica).
- **Salmueras (enriquecidas en cloruro de litio > 200 ppm Li y satisfagan:  $\text{Mg}/\text{Li} \leq 10$ ;  $\text{SO}_4/\text{Li} \leq 30$ ;  $\text{B}/\text{Li} \leq 3$ ).**
- USA está investigando las arcillas ricas en Li (hectorita), salmueras continentales, salmueras geotermales, y salmueras petrolíferas.
- **El ambiente árido es importante para la factibilidad económica de la producción del litio de salmueras.**
- Se investiga recuperar **Li** del agua de mar (0.183 ppm), sin embargo, el alto contenido de Mg y  $\text{SO}_4$  son obstáculos importantes.

# Producción Mundial de Litio

<https://www.newscientist.com/article/mg22830430-300-lithium-dreams-the-surreal-landscapes-where-batteries-are-born/>

- La producción mundial de Litio en el 2017 se concentra en cuatro países:
  - 1º Australia el 43% mediante espodumena (Greenbushes).
  - 2º Chile 33% mediante Salmueras (Salar de Atacama).
  - 3º Argentina 13% (Salar del Hombre Muerto).
  - 4º China 7% mediante salmueras y espodumena.
- Recursos Mundiales: 53 millones de Toneladas.
- USA 6.8 Mton, Argentina 9.8 Mton, Bolivia 9 Mton, Chile 8.4 Mton, China 7 Mton, y Australia 5 Mton.
- **El proceso de obtención a partir de salmueras demora 9 a 12 meses, pero es barato** (2200 US\$/ton, SQM (2008c) en Lagos 2009).
- **El proceso de obtención de Li de espodumena es el doble de caro** (5200 US\$/ton) **pero es más rápido** (www.911metallurgist.com).

# Evaluación del Recurso Litio en Salmueras

- La estimación del recurso es compleja pues requiere conocer el sistema hidrogeológico de la salmuera.
  - Definir sus límites laterales
  - Porosidad efectiva
  - Relación entre la litología y contenido iónico de la salmuera.
- Es un recurso dinámico: La salmuera se mueve, fluye por bombeo y naturalmente.
- Conocer los efectos del influjo de agua subterránea.
- En el Salar de Atacama, la salmuera productiva está contenida en los 30 m superiores del núcleo de halita poroso (Garrett, 2004). Pero poco se conoce acerca del potencial del acuífero en profundidad.
- El clima es muy importante, la precipitación afecta la distribución del contenido iónico.

# Clasificación del Recurso

Aumento del grado  
de confianza y  
conocimiento  
hidrogeológico



## Inferido

Evidencias de permeabilidad secundaria, bajo conocimiento hidráulico. Conocimiento de la hidroquímica superficial.

## Indicado

Pruebas de bombeo con suficiente conductividad y transmisibilidad hidráulica y distribución del contenido iónico en profundidad con varianza conocida.

## Medido

Modelo hidro-litológico 3D consistente tanto en volumen de salmuera extraíble como en la distribución del contenido iónico.

# Recurso versus Reserva

## Indicado

Pruebas de bombeo con suficiente conductividad y transmisibilidad hidráulica y distribución del contenido iónico en profundidad con varianza conocida.



## Probable

Modelo predictivo de largo plazo (> 5 años). Nivel de confianza en la recuperación in-situ relativamente bajo).



## Medido

Modelo hidro-litológico 3D consistente tanto en volumen de salmuera extraíble como en la distribución del contenido iónico.



## Probada

Modelos de simulación predictivos de corto plazo (< 5 años). Nivel de confianza en la recuperación in-situ alta.

Factores Modificadores: Consideraciones extractivas, tecnológicas (procesos), legales, económicas, sociales, mercado, ambientales y gubernamentales.



# Estimación del Volumen de la salmuera

- Mapeo geológico.
- Muestreo superficial de la salmuera.
- Estudios geofísicos.
- Sondajes diamantina para muestras de roca y de la salmuera.
- Descripción de testigos para estratigrafía y geofísica vertical (densidad, porosidad, etc.).
- Pruebas de bombeo (transmisividad, rendimiento específico, eficiencia del pozo, etc).
- Construcción Modelo hidrogeológico 3D.

# Estimación de Reservas en Salmueras

- Debe tener un modelo hidrogeológico 3D dinámico.
- Debe incluir el factor de recuperación in-situ.
- Estar restringida a los recursos Indicados y Medidos.
- Considerar el destino y/o procesamiento final de la salmuera residual, la que puede impactar la vida final de la operación extractiva.
- El uso de agua fresca para la producción.
- Considerar el impacto ambiental.



Muchas Gracias por su atención

# Bibliografía

- <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>
- <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of00-011/>
- Riley, J.P, Tongudai, M., 1964. The lithium content of sea water. Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. Volume 11, Issue 4, P. 563-568.
- Manning, D.A.C., 1995. Introduction to Industrial Minerals. Chapman & Hall, London, 276 p.
- [www.911metallurgist.com/blog/froth-flotation-spodumene-processing-lithium-extraction](http://www.911metallurgist.com/blog/froth-flotation-spodumene-processing-lithium-extraction)
- Lagos, C., 2009. Antecedentes para una Política Pública en Minerales Estratégicos: Litio (DE/12/09). Cochilco No. 184.825.
- SQM (2008c). Proyección de los efectos económicos de los Cambios en los Límites de Producción y Comercialización de Litio en el Salar de Atacama. Documento de uso exclusivo SQM/CORFO, Mayo 2008.
- Wagner, L.A., 2002. Materials in the economy—material flows, scarcity, and the environment. U.S. Geological Survey Circular 1221, 1–29.
- <http://www.miningfeeds.com/2015/06/11/brine-harvesting-of-lithium-vs-hard-rock-mining/>