

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA.
ESCUELA DE GEOLOGIA.

ESTUDIO GEOLOGICO EVALUATIVO DE LA POTASA EN EL PERU

POR

JOSE LUIS CARBONE CASTELLANO

TESIS

PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA
MINERA Y METALURGICA.

PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO

LIMA - PERU

1995

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

INDICE

-Resumen.	19
-Agradecimiento.	20
-Objetivos de la Tesis.	21
Capitulo I : GENERALIDADES SOBRE LA POTASA.	
I.1 Definición.	22
I.2 Importancia.	23
I.3 Reseña histórica.	23
I.4 Trabajos Anteriores.	26
I.5 Ciclo Geoquímico del Potasio.	27
I.6 Fuentes Minerales y No-minerales.	30
I.7 Mineralogía.	33
Capitulo II : GENESIS Y OCURRENCIAS DE LOS DEPOSITOS DE POTASA.	
II.1 Génesis de los depósitos sedimentarios, de filia- ción evaporítica.	35
II.2 Génesis de los depósitos de potasa de otros orígenes.	43
II.3 Otras características de los depósitos sedimenta- rios asociados a evaporitas.	46
II.4 Ocurrencia mundial de depósitos de potasa asocia- dos a evaporitas de origen sedimentario.	48

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

II.5 Principales depósitos de potasa en el Perú.	64
II.6 Las Salinas de Chilca, como depósito de asociación evaporítica.	84

Capitulo III : INDUSTRIALIZACION DE LA POTASA.

III.1 Usos.	93
III.2 Posibilidades industriales y económicas de los depósitos de potasa.	95
III.3 Proyecto con mayor posibilidad en el país.	103

CAPITULO IV : PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE LA POTASA.

IV.1 Producción.	104
IV.2 Comercialización.	105

Capitulo V : RESULTADOS

V.1 Conclusiones.	115
V.2 Recomendaciones.	118

-Referencias Bibliográficas.	119
-Anexo.	122
-Ilustraciones.	123

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

INDICE EXTENDIDO

Capitulo I : GENERALIDADES SOBRE LA POTASA.

I.1 Definición.	22
I.2 Importancia.	23
I.3 Reseña Histórica.	23
I.4 Trabajos Anteriores.	26
I.5 Ciclo Geoquímico del Potasio.	27
I.6 Fuentes Minerales y No-minerales.	30
6.1 Fuentes Minerales de Potasa.	30
6.1.1 De origen evaporítico.	
6.1.2 De otros orígenes.	
6.2 Fuentes No-minerales de Potasa	31
6.2.1 De desechos inorgánicos.	
6.2.2 De desechos orgánicos.	
I.7 Mineralogía.	33

**Capitulo II : GENESIS Y OCURRENCIAS DE LOS DEPOSITOS DE
POTASA.**

II.1 Génesis de los depósitos sedimentarios, de filia- ción evaporítica.	35
1.1 Principios y controles básicos en el sistema evaporítico.	35
1.1.1 Principios.	
1.1.2 Controles básicos.	
1.2 Principios de deposición evaporítica.	37
1.2.1 La precipitación selectiva ó control estratigráfico.	
1.3 Tipos de cuencas evaporíticas.	40
1.3.1 Cuenca cerrada ("Bull eye").	
1.3.2 Cuenca semi-cerrada ("Tear drop").	
1.3.3 Cuenca múltiple.	
1.4 Fases evolutivas de una cuenca evaporítica...	41
1.4.1 Fase regresiva o "normal".	
1.4.2 Fase transgresiva o "inversa".	
1.5 Modelos de deposición evaporítica.	42
1.5.1 Sub-aéreo (nodular).	
1.5.2 Sub-acuoso (laminado). a- de aguas profundas. b- por desecación.	

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

II.2 Génesis de los depósitos de potasa de otros orígenes.	43
2.1 Depósitos asociados a rocas ígneas feldespáticas.	44
2.2 Depósitos asociados a zonas áridas.	45
II.3 Otras características de los depósitos <u>sedimenta-</u> rios asociados a evaporitas.	46
3.1 Tectónica salina.	46
3.2 Características geofísicas y geoquímicas fa- vorables para la exploración de la potasa. ..	46
3.2.1 Geofísica. a- la radiactividad. b- la porosidad.	
3.2.2 Geoquímica.	
II.4 Ocurrencia mundial de depósitos de potasa asocia- dos a evaporitas de origen <u>sedimentario</u>	48
4.1 Cuenca de Solikamsk, Rusia.	49
4.2 Cuenca de Zechstein, Europa.	50
4.3 Cuenca de Alsacia, Francia.	51
4.4 Cuencas de Gabón y Congo, África.	51
4.5 Cuenca Williston, América del Norte.	53
4.6 Cuenca del Ebro, España.	54
4.7 Cuenca Amazónica, Brasil.	57
4.8 Área de Salt Spring, Canadá.	58

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

4.9 Meseta de Khorat, Asia.	60
4.10 Cuenca de Nuevo México-Texas, Estados Unidos.	62
4.11 Resumen de las principales ocurrencias de potasa en el mundo.	63
II.5 Principales depósitos de potasa en el Perú.	64
5.1 Depósitos confirmados de asociación evaporí- tica.	64
5.1.1 Salmueras de Ramón, Sechura.	
5.1.2 Depósitos de potasa de capas subterrá- neas y/o domos salinos.	
5.2 Depósitos confirmados o por confirmar de otros orígenes.	70
5.2.1 Depósitos de feldespatos potásicos.	
5.2.2 Depósitos de costas áridas. a- Santiago de Cao, Nepeña, Chiquitoy y Tres Palos - La Libertad. b- Huarmey, Ancash. c- Mala, Lima.	
5.3 Posibles ocurrencias en el Perú, de depósitos de potasa de asociación evaporítica.	73
5.3.1 Tiempo geológico y áreas favorables para la ubicación de depósitos de potasa. a- en el Paleozoico. b- en el Mesozoico. c- en el Cenozoico.	
5.3.2 Depósitos probables de edad reciente. a- Bocana de Virrila, Sechura. b- Depresión de Salina Grande ó Sechura, Sechura.	

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

5.4 Estimación de reservas en el Perú: mineral probado y probable.	83
5.4.1 Valor de las reservas.	
II.6 Las Salinas de Chilca (Lima), como depósito de asociación evaporítica.	84
6.1 Ubicación y Acceso.	84
6.2 Metodología de trabajo.	85
6.3 Geología Local.	86
6.3.1 Pozas de Evaporación.	
6.3.2 Muestreo Geoquímico.	
6.3.3 Análisis Geoquímico.	
6.3.4 Descripción Litológica.	
6.3.5 Índice de Evaporación.	
6.4 Reservas.	90
6.5 Interpretación.	91

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Capitulo III : INDUSTRIALIZACION DE LA POTASA.

III.1 Usos.	93
1.1 Agricultura.	93
1.2 Industria.	94
III.2 Posibilidades industriales y económicas de la potasa	95
2.1 Métodos de explotación.	95
2.1.1 Métodos de explotación de capas subterráneas.	
a- convencional.	
b- por disolución.	
2.1.2 Método de explotación de salinas y/o salmueras.	
a- por evaporación.	
2.1.3 Métodos de explotación de costas áridas.	
2.2 Métodos de tratamiento o beneficio.	97

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.2.1	Método de beneficio de capas subterráneas y/o domos salinos.	
2.2.2	Método de beneficio de salinas y/o salmueras.	
2.2.3	Métodos de beneficio de costas áridas.	
	a- Lixiviación en frío.	
	b- Disolución en caliente.	
2.3	Costos de producción.	100
2.3.1	Costos de producción de capas subterráneas y/o domos salinos.	
2.3.2	Costos de producción de salinas y/o salmueras en superficie.	
2.3.2	Costos de producción de costas áridas.	
III.3	Proyecto con mayor posibilidad en el país.	103
3.1	Salmueras de Ramón, Sechura.	103

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

CAPITULO IV : PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE LA POTASA.

IV.1 Producción.	104
1.1 Producción Nacional.	104
1.2 Producción Mundial.	104
IV.2 Comercialización.	105
2.1 Precios.	106
2.2 Importaciones.	108
2.2.1 Cloruro de potasio.	
2.2.2 Nitrato de potasio.	
2.3 Exportaciones.	111
2.4 Consumo y Demanda.	111
2.4.1 Consumo y demanda Nacional.	
2.4.2 Consumo y demanda Mundial.	

Capitulo V : RESULTADOS

V.1 Conclusiones. 115

V.2 Recomendaciones. 118

-Referencias Bibliográficas. 119

-Anexo. 122

-Ilustraciones. 123

ILUSTRACIONES

Cuadros

1.1 Abundancia promedio del potasio en diversos tipos de rocas. (Rankama, 1954)	27
1.2 Acción del intemperismo sobre las rocas ígneas. (Mason, 1952)	28
1.3 Minerales de Potasa de origen evaporítico	30
1.4 Minerales de Potasa de otros orígenes	31
1.5 Propiedades físicas de los minerales fuentes de Potasa. (Dana, 1957)	34
2.1 Precipitación selectiva de las evaporitas (Ojeda y Ojeda, 1988)	39
2.2 Estratigrafía salina generalizada de la cuenca pérmica de Solikamsk, Rusia. (Bateman, 1957).....	49
2.3 Estratigrafía generalizada de la cuenca Zechstein en el distrito de Stassfurt, Alemania. (Bateman, 1957)	50
2.4 Estratigrafía salina generalizada en la cuenca del Ebro, España. (Ramirez, 1986)	56
2.5 Ocurrencias Mundiales de depósitos de Potasa (U.S. Bureau of Mines, 1988)	63
2.6 Composición química comparativa de las salmueras de Ramón con el agua de mar y otros depósitos. (Minero Perú, 1976 y Boletín Minero Chile, 1988)..	67

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.7 Reservas de las salmueras de Ramón, Sechura. (Minero Perú, 1976)	67
2.8 Antiguos depósitos de nitrato de potasio en el Perú. (Rodríguez, 1917)	72
2.9 Ocurrencia de eventos evaporíticos en el Perú y su correlación con eventos mundiales. (Carbone, 1994)	79
2.10 Análisis químico de las aguas en el Estuario de Virrila. (Morris, 1957)	81
2.11 Temperaturas Máximas y Mínimas promedio y Precipitación media Anual en la Estación meteorolo- gía de Piura-Perú. (CORPAC S.A., 1994)	82
2.12 Reserva nacional de Potasa , sector de Sechura. (Minero Perú, 1978)	83
2.13 Acceso a Las Salinas de Chilca.	85
2.14 Resultado del Muestreo Referencial en Las Salinas de Chilca.	87
2.15 Ubicación y Descripción Litológica de las Mues- tras tomadas en Las Salinas de Chilca.	89
2.16 Índice de Evaporación en Las Salinas de Chilca. .	90
3.1 Uso industrial de la Potasa. (Tafur, 1976)	95
3.2 Costos estimados de producción de Potasa de salmueras (Minero Perú, 1975).....	101
3.3 Costos estimados de producción de Potasa de costas áridas (Rodríguez, 1917)	102

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

4.1 Producción mundial de sales de potasio, periodo 1987 - 1989 y 1995(e). (Mineral Commodity Sumaries, 1990)	105
4.2 Contenido de K ₂ O y K en los compuestos comercia- les de potasio. (Potassium for Agriculture Internatiónal, 1988) .	106
4.3 Precios promedio FOB mina de las sales de pota- sio, periodo 1990 - 1994. (Industrials Minerals, 1990 a 1994)	106
4.4 Precios CIF Callao de las sales de potasio, periodo 1987 - 1990. (ICE, 1991)	107
4.5 Precios promedio de la Potasa en el mercado nacional. (ENCI, 1995)	107
4.6 Importaciones de cloruro de potasio , en el periodo 1984 - 1989. (ICE, 1991)	108
4.7 Fletes y seguros pagados para importar cloruro de potasio, en el periodo 1986 - 1988. (ICE, 1991)	109
4.8 Importaciones de nitrato de potasio, en el periodo 1984 - 1990. (ICE, 1991)	110
4.9 Fletes y seguros pagados para importar nitrato de potasio en el periodo 1987 - 1990. (ICE, 1991)	110
4.10 Consumo nacional de Potasa en la agricultura, en el periodo 1974 - 1993. (ENCI, 1993)	111
4.11 Resumen de siembras de los principales cultivos de programación nacional y su requerimiento de Potasa, campaña agrícola 1992-1993. (Ministerio de Agricultura 1993 y Potassium for Agriculture 1988)	112
4.12 Consumo mundial estimado de Potasa por regiones geográficas para 1985 y 1993. (Dunlap, 1979) ...	114

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Figuras

2.1 Cuenca Cerrada ("Bull Eye"), distribución concéntrica de facies. (Hsü, 1972)	124
2.2 Cuenca Semi-cerrada ("Tear Drop"), distribución asimétrica de facies. (Hsü, 1972)	125
2.3 Cuenca Múltiple. (Schmalz, 1979)	126
2.4 Fase Regresiva de una cuenca evaporítica semi - cerrada (Hite, 1970)	127
2.5 Fase Transgresiva de una cuenca evaporítica semi-cerrada (Hite, 1970)	128
2.6 Perfil de Bromo (ppm) en la formación Cassidy Lake. (Anderle, 1979)	129
2.7 Límites de las cuencas evaporíticas de Camerún - Gabon - Angola. (de Ruiters, 1977)	130
2.8 Marco Regional de la Cuenca Williston (Elk Point), USA, (Cánada). (Anderson, 1978)	131
2.9 Mapa geológico del Campo Catalán de Potasa, España. (Ramirez, 1986)	132
2.10 Mapa de ubicación de la Cuenca Amazónica. (Szatmari, 1979)	133

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.11	Cuenca Amazónica, mapa de faces del VII ciclo evaporítico. (Szatmari, 1979)	134
2.12	Mapa Geológico del área de Salt Spring, New Brunswick (Cánada). (Anderle, 1979)	135
2.13	Columna estratigráfica del sinclinal de Marchbank, New Brunswick (Cánada). (Anderle, 1979) ..	136
2.14	Mapa índice de la meseta de Khorat. (Hite, 1974)	137
2.15	Mapa Geológico del nor-este de Tailandia. (Jevanaphet, 1969)	138
2.16	Mapa de ubicación de los principales depósitos de potasa en el mundo (J Carbone, 1993)	139
2.17	Plan General para el proyecto Salmueras, Ramón. (Minero Perú, 1975)	140
2.18	Arreglo General de la Unidad Bayovar incluyendo las Salmueras de Ramón. (Minero Perú, 1975)	141
2.19	Distribución General del Proyecto Salmueras de Ramón-Unidad Bayovar, (Minero Perú, 1975) ...	142
2.20	Distribución de la pozas de evaporación del proyecto Salmueras de Ramón, (Minero Perú, 1975) ..	143
2.21	Ubicación Regional del estuario de Virrila y de la depresión Salina Grande. (Morris, 1957)	144

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Planos

2.1	Plano de ocurrencias evaporíticas en el Perú. (J Carbone , 1993)	146
2.2	Plano de distribución de los depósitos evaporí- ticos en el Paleozoico. (V. Benavides, 1968) ...	147
2.3	Plano de distribución de los depósitos evaporí- ticos en el Triásico-Jurásico. (Benavides, 1968)	148
2.4	Plano de distribución de los depósitos evaporí- ticos en el Cretáceo. (V. Benavides, 1968)	149
2.5	Ubicación y Acceso al área de las Salinas de Chilca, escala 1: 500,000.	150
2.6	Plano geológico del área de las Salinas de Chilca, escala 1:25,000.	151

Fotos (Salinas de Chilca)

2.1	Vista panorámica Las Salinas de Chilca- Norte. .	153
2.2	Vista panorámica Las Salinas de Chilca- Sur. ...	154
2.3	Las Salinas de Chilca. Area de salmueras.	155
2.4	Afloramiento de costras salinas.	155
2.5	Sector de las pozas de evaporación.	156
2.6	Poza de evaporación ,concentración de sales. ...	156
2.7	Muestras #03 y #04.	157
2.8	Muestra #05, costras salinas.	157

Reportes

2.1	Resultado del análisis del laboratorio.	159
-----	--	-----

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

- Resumen.

La potasa es una sustancia mineral de primera importancia para el sostenimiento de la vida en la tierra. Los seres vivientes requieren de potasa para desarrollarse adecuadamente, siendo utilizada principalmente en la agricultura como "abono" de los campos de cultivo.

Los principales minerales portadores de potasa se concentran en cuencas cerradas que encierran considerables cantidades de agua de mar y que por efecto de la evaporación solar precipitan bajo condiciones especiales, para formar enormes depósitos de "rocas evaporíticas" que muchas veces son cubiertos por otros sedimentos en espesores de cientos o incluso miles de metros. Así mismo, en tiempo presente, brazos de mares antiguos que aún contienen agua salada, son también una fuente importante de potasa, como el Mar Muerto en Israel-Jordania ó el Gran Lago Salado de Utah, Estados Unidos.

La silvita y la carnalita son los minerales evaporíticos que representan la mayor fuente de potasa.

Para la exploración y explotación de la potasa en estratos subterráneos se utilizan, métodos similares a los empleados en la exploración por petróleo y en la extracción de minerales en

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

minería subterránea y para la potasa proveniente de salmueras se emplean métodos que concentren y precipiten las sales selectivamente.

En el Perú la salmuera de Ramón es el único depósito estudiado y según su evaluador, Minero Perú, se encontraría apto para producir hasta 100,000 T.M. de potasa al año, pero su puesta en operación no se ha concretado.

Nuestro país consume en promedio 22,000 TM de potasa al año, aunque el requerimiento agrícola de la misma sería de 200,000 TM/año.

La potasa se adquiere en su totalidad del extranjero, pagando precios elevados por ella.

La demanda mundial alcanzó 31 millones de TM al año en 1993, y fue cubierta en un 90 % por seis países: Estados Unidos, Canadá, Rusia, Alemania, Francia e Israel. En Sudamérica, Brasil y Chile son los únicos países que han reportado producción de "potasa".

- Agradecimiento.

Muy especialmente al Ing. Alfonso Huamán y al Ing Atilio Mendoza, quienes me asesoraron en el presente trabajo, y en general a todos los docentes que contribuyeron a mi formación profesional.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

- Objetivos de la Tesis.

Cuando se eligió el tema de este trabajo, se encontró escasa información sobre el mismo, en el ámbito nacional, por lo que el primer objetivo ha consistido en sentar las bases para el desarrollo de futuros trabajos de investigación sobre la potasa y su ocurrencia en el Perú. Parte importante de la investigación se centró en obtener información bibliográfica al respecto de libros, folletos y revistas, principalmente extranjeras en idioma inglés.

Durante el desarrollo del tema se consideró como otro objetivo ahondar sobre la génesis, las características geológicas y ocurrencias de algunos de los principales depósitos de potasa en el mundo, lo que nos permitió obtener algunas conclusiones de interés respecto a la exploración y explotación de la potasa.

Así mismo se consideró de importancia realizar un trabajo experimental de campo en Las Salinas de Chilca, como modelo de un depósito de salmueras.

Finalmente, el cuarto objetivo fue investigar sobre la producción y comercialización de la potasa, así como del suministro y la demanda de esta sustancia, tanto a nivel nacional como mundial para determinar las características actuales del mercado.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Capítulo I: GENERALIDADES SOBRE LA POTASA.

I.1 Definición.

El origen del nombre "potasa", proviene de principios del siglo XVII cuando para hacer jabón se evaporaba las lejías de ceniza de madera en ollas ó "*potes*" de hierro, siendo el producto final carbonato de potasio, al cual se le llamó "potasa cáustica".

Al principio se utilizó industrialmente para hacer jabón, vidrio y cerámica, y para el teñido y curtido de pieles.

Posteriormente se empleo el término "potasa" para designar de un modo general a los compuestos de potasio.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

En la actualidad, y en el presente trabajo, el término "potasa" se utiliza para referirse a los compuestos minerales con un contenido significativo de potasio, entre 8 y 10% como mínimo.

I.2 Importancia.

La importancia de la potasa radica en sus propiedades como sustancia fertilizadora de los campos de cultivos del planeta.

En los últimos 40 años, el crecimiento de la población así como de la demanda mundial de potasa ha sido extraordinario. Hacia el año 1950 el consumo bordeó los 4 millones de TM de potasa al año ; en 1970 el consumo se elevó a 16 millones de TM , y 20 años después, en 1990, aumentó a más de 31 millones de TM, lo que demuestra un crecimiento importante en el consumo de esta sustancia fertilizadora.

I.3 Reseña Histórica.

En 1807, Sir Humphry Davy descubrió el potasio como elemento químico, el cual no existe en la naturaleza en forma aislada por su gran afinidad con el oxígeno, aunque tampoco

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

existe como K_2O , sino como minerales tales como la silvita, carnalita, nitro y otros.

En 1861 se descubrieron los ricos yacimientos potásicos de Sttassfurt (Alemania) , en la cuenca de Zechstein, pero su utilización fue restringida hasta 1871.

En 1872 se introdujeron en el mercado los minerales de potasa como fertilizantes, para su uso en la agricultura, año a partir del cual se inició un incremento notable de su consumo.

El "Cartel Alemán" con los yacimientos de Sttassfurt y aledaños, llegó a cubrir la demanda mundial de potasa hasta 1914, año a partir del cual se cortó el suministro por la primera guerra mundial. A partir de entonces los demás países, principalmente, Estados Unidos, Canadá y Rusia, entre otros, se preocuparon por ubicar depósitos de potasa en sus amplios territorios, teniendo éxito algunos años después, aunque hay que reconocer que en muchos casos los primeros indicios fueron proporcionados por programas de perforación petrolera.

En 1925 se tuvo conocimientos de la existencia de potasa en la cuenca pérmica de Texas - Nuevo México (USA), yacimientos que comenzaron a producir en 1931.

En 1935 se descubrieron los depósitos salinos de la cuenca Gabón en uno de los primeros pozos del programa de exploración petrolera realizado por los franceses, aunque las primeras sales de potasa se encontraron recién en 1948.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

En 1942 se ubicaron los grandes depósitos de Saskatchewan (Canadá), que producen gran cantidad de potasa en la actualidad, y cuentan aún con un enorme volumen en reservas.

En 1960 una nueva compañía encontró sales de potasa en la cuenca de Congo, vecina a la de Gabón e inició su explotación en 1969.

En 1968 se reconoció la existencia de sales de potasio en North Yorkshire (Inglaterra), también asociadas a la cuenca de Zechstein.

En 1972 se tuvo noticia de la existencia de un depósito en New Brunswick (Canadá), el cual entró en operación algunos años después.

Uno de los últimos grandes descubrimientos subterráneos se realizó en 1973 en la meseta de Khorat (Tailandia - Laos), donde se ubicaron gruesos depósitos de potasa, los cuales han comenzado a ser explotados en 1993.

En América Latina se desarrollan en la actualidad (1995) tres importantes proyectos; en Argentina se construye una planta de evaporación para producir 250 mil TM/año de cloruro de potasio en las Salinas de Llacanelo, provincia de Mendoza; en Chile se inició en Enero de 1994 la construcción de una planta para beneficiar 300 mil TM/año de potasa en un yacimiento ubicado en pleno desierto de Atacama a 2300 msnm, 200 kilómetros al este de Antofagasta, se espera iniciar la

explotación a principios de 1996 y en Brasil otro proyecto busca financiamiento para producir 1.5 millones de TM/año de cloruro de potasio.

I.4 Trabajos Anteriores.

Destacan algunos trabajos anteriores sobre la potasa entre los cuales se encuentran:

"La Industria del Nitrato de Potasio en el Perú" escrito por G. Rodríguez Mariategui en 1917 y publicado en el Tomo V de los anales del Congreso Nacional de la Industria Minera en 1920.

Los trabajos de evaluación realizados por Minero Perú entre 1970 y 1976 dieron origen a dos trabajos de investigación que fueron presentados como tesis bajo los títulos "Programación del proyecto de Salmueras de Ramón" (1979), presentado por Grimaldo M. Basurto en la UNI para optar el título de ingeniero de minas y "Geología del Reservorio de Salmueras de Ramón en el Desierto de Sechura" (1981) presentado por Ismael Aldana Alvarez para optar el título de ingeniero geólogo en la UNMSM.

Así mismo el inventario realizado por Mario Samame Boggio en el tomo IV, tercer volumen, de su obra "El Perú Minero" (1981) y el de la misión española de cooperación técnica en su tomo 16 (1980) han aportado al tema.

I.5 Ciclo Geoquímico del Potasio.

La abundancia cósmica del potasio se calcula en 32 átomos por cada 4.0×10^8 átomos de hidrógeno ó 3.1×10^7 de helio. Sin embargo el promedio de K^+ en la corteza terrestre es de 2,59 %, y el del óxido de potasio (K_2O) de 3,2 %, lo que sitúa al potasio en el séptimo lugar en abundancia de elementos en la corteza terrestre después del silicio, aluminio, hierro, magnesio, calcio y sodio.

La abundancia promedio del potasio en los diferentes tipos de rocas es la siguiente:

Cuadro # : 1.1

ABUNDANCIA PROMEDIO DEL POTASIO EN DIVERSOS TIPOS DE ROCAS.			
<i>Rocas Igneas</i>		<i>Rocas Sedimentarias</i>	
<i>Tipo</i>	% K	<i>Tipo</i>	% K
Granito	4,51	Lutita	3,24
Diabasa	0,53	Arenisca	1,31
		Caliza	0,33

Fuente: Rankama, 1954.

El ciclo del potasio se inicia cuando los feldespatos potásicos y la leucita de las rocas igneas son disueltos

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

completamente por la meteorización , permaneciendo el potasio libre en solución iónica, como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro # : 1.2

ACCION DEL INTEMPERISMO SOBRE LAS ROCAS IGNEAS.		
<i>Oxido</i>	<i>Roca fresca(%)</i>	<i>Roca alterada(%)</i>
SiO ₂	71.54	55.07
Al ₂ O ₃	14.62	26.14
Fe ₂ O ₃	0.69	3.72
FeO	1.64	2.53
MgO (>)	0.77	0.33
CaO (>>)	2.08	0.16
Na ₂ O (>>>)	3.84	0.05
K₂O (>>>)	3.92	0.14
H ₂ O	0.32	10.34
Otros	0.65	0.58
	-----	-----
TOTAL :	100.07	100.11

Fuente: Mason, 1952.

Luego los arroyos y ríos se encargan de transportar el potasio al mar a excepción del ubicado en las regiones áridas que permanece en los residuos de la meteorización.

"En el mar el contenido de potasio varía ligeramente dependiendo principalmente del agua de los ríos próximos y de la actividad biológica marina.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Así mismo la formación eventual de depósitos de fondo marino como glauconita, filipsita y otras zeolitas disminuyen el contenido de potasio en el agua de mar. Se estima que sólo el 2,4 % de la cantidad de potasio transportado al mar, queda en éste.

Los procesos de fijación del potasio en los hidrolizados marinos ponen en libertad una cantidad equivalente de iones H^+ que contribuyen a estabilizar el ph del agua de mar.

Cuando parte del océano queda restringido en cuencas mas pequeñas y se produce el fenómeno de evaporación, aumenta la concentración de solidos que causa la precipitación de las sales "evaporíticas", entre las que se encuentran las del potasio, únicas fuentes importantes de potasa.

En las sales simples de potasio, no se produce la sustitución en la red del ión de Na^+ por el de K^+ , por lo que son pobres en sodio lo contrario al caso de los silicatos potásicos en las rocas ígneas. Esto es explicable por las temperaturas de formación de las sustancias. Las rocas ígneas a altas temperaturas de formación tienen una estructura mineralógica más flexible, en cambio las sales evaporíticas a temperaturas bajas tienen una estructura más rígida."

(Rankama ,1954.)

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

I.6 Fuentes Minerales y No-minerales.

6.1 Fuentes Minerales de Potasa.

La potasa se obtiene de la silvita y la carnalita que se presentan en abundancia por concentración natural en la última fase de los depósitos sedimentarios evaporíticos, y en menor cantidad de la ortoza u ortoclasa que se presenta en las rocas ígneas alcalinas y del nitro o salitre potásico, que se encuentra en las costas áridas.

De acuerdo a su importancia las clasificamos en dos grupos.

6.1.1 De origen evaporítico.

La principal fuente de potasa proviene de los minerales de origen evaporítico, que se encuentran en los estratos evaporíticos consolidados y en las salmueras.

Los minerales "fuentes" se presentan en el siguiente cuadro, indicando su composición y contenido equivalente de K_2O en porcentaje.

Cuadro #: 1.3

MINERALES DE POTASA DE ORIGEN EVAPORITICO			
<i>Mineral</i>	<i>Nombre Químico</i>	<i>Composición</i>	<i>(% K_2O)</i>
Silvita	Cloruro	KCl	63.1
Carnalita	Cloruro doble	KCl.MgCl ₂ .6H ₂ O	17.0
Langbeinita	Sulfato doble	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄	22.6
Polihalita	Sulfato triple	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .2CaSO ₄ .2H ₂ O	15.5
Kainita	Cloruro-Sulfato	MgSO ₄ .KCl.3H ₂ O	18.9

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

6.1.2 De otros orígenes.

Existen también otros minerales que contienen potasio, pero por su reducida ocurrencia se consideran como fuentes secundarias de potasa.

Estos minerales son los siguientes :

Cuadro # : 1.4

MINERALES DE POTASA DE OTROS ORIGENES			
<i>Mineral</i>	<i>Nombre Químico</i>	<i>Composición</i>	<i>(%K₂O)</i>
Nitro	Nitrato	KNO ₃	46.5
Leucita	Silicato	KAlSi ₂ O ₆	21.5
Ortoclasa	Silicato doble	KAlSi ₃ O ₈	16.9
Anortoclasa	Silicato doble	(Na,K) AlSi ₃ O ₈	0-16.9
Glauconita	Silicato doble hid.	KFeSi ₂ O ₆ .nH ₂ O	2.3- 8.6
Alunita	Sulfato	KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	11.4

6.2 Fuentes No-Minerales de Potasa.

Algunos procesos industriales con otros fines, producen potasa como subproducto.

Los volúmenes de potasa de este origen son reducidos y se subdividen en dos grupos ,según su procedencia:

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

6.2.1 De desechos inorgánicos.

Se obtiene potasa de los polvos resultantes de los hornos donde se produce cemento y de los altos hornos. Estos polvos contienen entre 4 y 20 % de K_2O .

6.2.2 De desechos orgánicos.

También se obtiene potasa de desechos orgánicos, tales como la caña de azúcar, remolacha, melazas, alcohol y desechos de la uva, así como de las cenizas de la madera, caña de bambú, tallos de las plantas de tabaco, de las cápsulas y cascaras de la semilla de algodón y tallos de girasol, los cuales una vez refinados se utilizan como fertilizantes.

Finalmente, la mugre de la lana del carnero también es una fuente de potasa con contenidos entre 7 y 12 % de K_2O .

I.7 Mineralogía.

La mineralogía de los minerales de potasa es importante para poder reconocerlos y diferenciarlos macroscopicamente de los minerales asociados como la anhidrita y la halita principalmente.

Las diferencias mineralógica entre la halita y la silvita son escasas ya que los dos minerales cristalizan en el sistema cúbico, son semi-transparentes o coloreados y tienen la misma dureza(2), pero pueden diferenciarse al exponerse al fuego de un soplete. La halita produce una coloración amarilla mientras que la silvita una coloración violeta-rojiza.

Las propiedades físicas de los minerales-fuentes de potasa se resumen en el siguiente cuadro :

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # : 1.5

PROPIEDADES FISICAS DE LOS MINERALES FUENTES DE POTASA					
<i>MINERAL</i>	<i>Sistema de Cristaliz.</i>	<i>Densidad gr/cm³</i>	<i>Dure- za</i>	<i>Indice de Reflexión</i>	<i>Sabor</i>
<i>Silvita</i>	Cúbico	1.99	2	1.49	amargo-sal
<i>Carnalita</i>	Rómbico	1.60	1	1.48	amargo-sal
<i>Kainita</i>	Monoclínico	2.10	3	1.51	amargo-sal
<i>Polihalita</i>	Triclínico	2.78	2-3	1.56	algo salado
<i>Nitro</i>	Trigonal	2.14	2	1.50	-----

Fuente: Dana, 1957.

***CAPITULO II : GENESIS Y OCURRENCIAS DE LOS DEPOSITOS DE
POTASA***

**II.1 Génesis de los depósitos sedimentarios, de filiación
evaporítica.**

Dentro del presente estudio es importante tener un concepto claro de la génesis de los depósitos evaporíticos que vienen a ser los que concentran la mayor cantidad de potasa. Por tal motivo exponemos en el presente subcapítulo las principios relacionados, los tipos y fases de cuencas y los modelos de deposición.

1.1 Principios y controles básicos en el sistema evaporítico.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

1.1.1 Principios.

Las evaporitas son rocas formadas por la precipitación de sales a partir de la evaporación de agua de mar en cuencas marinas restringidas o en lagos salados continentales.

La acumulación de *evaporitas* en cuencas continentales son menos significativas y su composición tanto como su estratigrafía suele variar de una cuenca a otra, a diferencia de las cuencas evaporíticas marinas cuyos depósitos presentan un ciclo estratigráfico más constante, que resulta de la composición relativamente definida y permanente del agua de mar.

1.1.2 Controles básicos.

Existen dos condiciones básicas para que, por precipitación natural, se produzca la acumulación de sales evaporíticas :

En primer lugar, se requiere de un control geomorfológico a través de la presencia de una cuenca marina con ligazón oceánica, restringida por la existencia de una barrera, tal como un arrecife, una barra, un alto estructural, un banco carbonático u otra, con un influjo de agua de mar hacia la cuenca y reflujos del fondo de la cuenca hacia el océano.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Y en segundo lugar, se requiere de un control meteorológico contando con una elevada tasa de evaporación, mayor o igual al flujo de agua de mar, para permitir la concentración de sales y su precipitación selectiva, según el orden de las solubilidades.

1.2 Principios de deposición evaporítica.

La deposición de las evaporitas marinas obedecen al principio básico de precipitación selectiva, el cual determina la composición y el ciclo estratigráfico.

1.2.1 La precipitación selectiva ó control
estrati- gráfico.

Las sales que componen *las evaporitas* precipitan a partir de salmueras concentradas, siguiendo el orden de solubilidades relativas de ellas, depositándose primero las sales menos solubles y luego las mas solubles, fijando así un ciclo estratigráfico definido.

La primera evaporíta que precipita desde la salmuera evaporante es la calcita (CaCO_3) , con una solubilidad extremadamente baja y con una cantidad en solución relativamente pequeña.

La siguiente fase corresponde a la precipitación de la anhidrita y el yeso (CaSO_4 y $\text{CaSO}_4 \cdot \text{nH}_2\text{O}$) que empieza a

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

depositarse cuando la cantidad de agua se ha reducido a 1/5 del volumen inicial.

La tercera fase comprende la precipitación de la halita (NaCl) que se separa de la solución concentrada residual cuando ésta se reduce a 1/10 del volumen inicial.

La cuarta fase es más compleja y variable, y empieza cuando la cantidad de agua evaporante se reduce a 1/20 del volumen inicial. A este pequeño volumen de salmueras se le denomina **AGUAS MADRES**.

En esta última fase la deposición de sales dependerá también de factores tales como la temperatura, el influjo de aguas fluviales, los restos del líquido final en contacto y reacción con los cristales precoces formados, entre otros, lo cual propicia una interestratificación variable de sales de potasio, magnesio y calcio, tales como :

silvita (KCl),

carnalita (KCl.MgCl₂.6H₂O),

polihalita (K₂SO₄.MgSO₄.2CaSO₄.2H₂O),

langbeinita (K₂SO₄.2MgSO₄),

kainita (MgSO₄.KCl.3H₂O) y

la tachydrita (CaCl₂.2MgCl₂.12H₂O), que puede presentarse en la fase final del proceso.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

La secuencia se resume en el siguiente cuadro :

Cuadro # : 2.1

PRECIPITACION SELECTIVA DE LAS EVAPORITAS (CONTROL ESTRATIGRAFICO)					
<i>(Final del ciclo evaporítico de precipitación de sales)</i>					
<i>Elemen- tos</i>	<i>Mineral</i>	<i>Composición Química</i>	<i>Densidad (gr/cm³)</i>	<i>Concentrac para precip.</i>	
Ca, Mg	Tachydríta	CaCl ₂ .2MgCl ₂ .12H ₂ O		nr	500x or
K, Mg	Carnalita	KCl.MgCl ₂ .6H ₂ O	1.60	r	100x or
K	Silvita	KCl	1.99	r	50x or
K, Na	Silvinita	KCl + NaCl		r	20x or
Na	Halita	NaCl	2.16	nr	10x or
Ca	Anhidrita	CaSO ₄	2.95	nr	5x or
Ca	Gipsita	CaSO ₄ .2H ₂ O	2.32	nr	3,5x or
Ca	Calcita	CaCO ₃	2.72	nr	3x or
<i>(Inicio del ciclo evaporítico de precipitación de sales).</i>					

Fuente : Ojeda y Ojeda, 1988.

Donde: r - sal radiactiva.
 nr - sal no radiactiva.
 5 x or - numero de veces la concentración original de
 sales del agua de mar.

Este orden de precipitación y composición secuencial "típica" permite diferenciar los depósitos de cuencas marinas con las de cuencas continentales interiores y nos brinda un buen control estratigráfico.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

La diferente composición y estratigrafía encontrada entre cuencas marinas implica la aceptación de un refluo de salmueras desde la cuenca al océano, que es controlado por las variaciones del nivel del mar (mareas) y/o por la variación isostática de la barrera.

1.3 Tipos de cuencas evaporíticas.

La forma de la cuenca es un buen control geomorfológico e influye determinadamente en la estratificación evaporítica por lo que es conveniente poder identificarla y reconocerla. Hsü, clasifica a las cuencas en base a modelos actuales y pasados de la siguiente manera:

1.3.1 Cuenca cerrada ("Bull eye").

Esta cuenca se caracteriza por no tener comunicación oceánica, y por consiguiente no hay presencia de aguas de influjo y salmueras de refluo.

La concentración y precipitación de sales en esta cuenca, que es poco común, siguen una distribución concéntrica, con las sales menos solubles al borde y las más solubles al centro de la cuenca. (figura 2.1).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

1.3.2 Cuenca semi-cerrada ("Tear drop").

Esta cuenca se caracteriza por tener una comunicación parcial con el océano y por presentar un influjo periódico de agua oceánica y reflujos de salmueras.

La concentración y precipitación selectiva de sales, sigue una distribución asimétrica, con las sales menos solubles próximas a la barrera y las más solubles cerca del borde interior de la cuenca, como por ejemplo la cuenca Amazónica.

(figuras 2.2 y 2.11).

1.3.3 Cuenca múltiple .

Se caracteriza por estar compuesta de varias sub-cuencas conectadas a través de barreras parcialmente eficientes, con una comunicación parcial con el océano y entre las sub-cuencas.

La concentración y precipitación selectiva de las sales se distribuye con las menos solubles en la cuenca próxima al océano y las más solubles en las cuencas interiores.

(figura 2.3).

1.4 Fases evolutivas de una cuenca evaporítica.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

1.4.1 Fase regresiva o "normal" .

Esta fase se caracteriza por la presencia de una barrera "eficiente" , con un influjo pequeño de agua oceánica que origina una estratificación por densidades crecientes desde el fondo a la superficie y desde el centro hacia el borde. (figura 2.4).

1.4.2 Fase transgresiva o "inversa".

Caracterizada por la presencia de una barrera "poco eficiente" , con un intenso influjo de agua oceánica que origina una estratificación por densidades decreciente desde el fondo a la superficie y al igual que la fase regresiva desde el centro hacia el borde.

(figura 2.5).

1.5 Modelos de deposición evaporítica.

1.5.1 Sub-aéreo (nodular).

Este modelo de deposición, caracterizado por el proceso tipo "Sabkha", no se encuentra asociado a depósitos de potasa.

1.5.2 Sub-acuoso (laminado).

Este modelo a su vez se puede clasificar en dos clases :

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

a- de aguas profundas.

Caracterizado porque la deposición evaporítica ocurre en cuencas semi-cerradas con flujo continuo de agua de mar.

Según Schmaltz (1969), se subdivide en cuatro estados.

- *Estado euxínico*, de ambiente reductor.
- *Estado efímero*, inicio del refluo.
- *Estado permanente*, inicio de la precipitación.
(gipsita-halita).
- *Estado terminal*, en el cual precipitan las sales de potasa.

b- por desecación .

Caracterizado por ocurrir en cuencas temporalmente cerradas, según modelo de distribución evaporítica concéntrica, formándose las evaporitas por desecación de la cuenca. (figura 2.1).

"Este modelo puede ser aplicado a las cuencas Elk Point (Canadá) y Zechstein (Europa), las cuales presentan una distribución concéntrica." (Hsü, 1972).

II.2 Génesis de los depósitos de potasa de otros orígenes.

Los depósitos de potasa también pueden tener un origen ajeno a la deposición evaporítica.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.1 Depósitos asociados a rocas ígneas feldespáticas.

El feldespato potásico, como hemos visto en el ciclo geoquímico del potasio, es la fuente primaria de la potasa y se forma con la solidificación de una masa ígnea a profundidad, principalmente en las últimas fases del estadio principal de cristalización, cuando los fundidos están muy "secos" (serie de Bowen).

Está representado por la ortoza, sanidina, adularia y microclina, siendo su contenido mayor en las rocas ácidas.

La ortoza es un mineral esencial en las rocas graníticas y gnéissicas. Así mismo se suelen encontrar en las pegmatitas asociada con cuarzo o plagioclasas.

La ortoza representa la fase estable de temperatura media del feldespato potásico. Se presenta en cristales prismáticos alargados frecuentemente maclados según la ley de Karlsbad, aunque más común es que se presente incluida en la roca como granos irregulares más o menos microcristalinos.

La ortoza puede presentarse incolora, blanca, gris, rosada ó rojiza.

La potasa obtenida de las rocas ígneas se utiliza principalmente en la industria del vidrio y no como fertilizante.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.2 Depósitos asociados a zonas áridas.

La génesis de estos depósitos es materia de estudio. El ingeniero G. Rodríguez en base a su experiencia personal pudo deducir en 1917 lo siguiente:

"Es probable que la descomposición de la materia orgánica, encontrando un terreno preparado para ello, en el que deben encontrarse cloruros, sulfatos, etc. y un conjunto de condiciones genésicas, dé lugar a la formación de las bacterias, que produciendo ácido nítrico permiten su combinación con el potasio, contando con el impulso de las reacciones químico-destilatorias marítimas, para dar lugar a la formación del *nitrate de potasio*.

Sirven de fundamento a esta idea los siguientes argumentos:

1- Los terrenos en que no existen restos incaicos alrededor del yacimiento están desprovistos de nitrato.

2- En el Perú, absolutamente todos los yacimientos descubiertos están situados sobre antiguas poblaciones.

3- Siempre están cerca de la costa y a pequeña altura sobre el nivel del mar.

4- En las ruinas en que no hay *nitro o nitrate de potasio* es porque la tierra está desprovista de sales delicuescentes por faltar algunas de las condiciones ya enumeradas." (Rodríguez, 1917).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

La potasa de este origen resulta adecuada para la fabricación de explosivos y como fertilizante.

II.3 Otras características de los depósitos sedimentarios asociados a evaporitas.

3.1 Tectónica salina.

Rasgos estructurales y geomorfológicos característicos permiten particularizar a la tectónica salina y ubicar regiones con posibles depósitos de potasa.

"Los evaporitos formados por sales más solubles que la halita tienen grandes capacidades para fluir.

En las cuencas sedimentarias, después de la deposición de una cobertura post-salífera, de espesor variable, y desarrollo de la gradiente de la base de las evaporitas, éstas tienden a fluir de las márgenes hacia el centro de la cuenca, dando lugar a la "tectónica salina" que genera marcadas deformaciones en los estratos sobrepuestos, conocidas como **DOMOS SALINOS**, propiciando el desenvolvimiento de padrones de estratificación bastantes característicos." (Ojeda y Ojeda, 1988).

3.2 Características geofísicas y geoquímicas favorables para la exploración de la potasa.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

3.2.1 Geofísica.

Las propiedades físicas de los minerales de potasa favorables para la geofísica son dos fundamentalmente: la radiactividad y la porosidad.

a- La radiactividad.

Es una propiedad muy importante del potasio que es utilizada por los registros geofísicos de rayos gamma.

"El perfil de rayos gamma detecta la presencia de los minerales radiactivos. La lectura de la radiactividad corregida por efecto del pozo es prácticamente proporcional al contenido de K_2O , aproximadamente 15 unidades API por 1% de K_2O ." (Szatmari, 1979).

b- La porosidad.

La porosidad escasa o nula que presentan los minerales evaporíticos y que responden característicamente en los registros geofísicos es muy útil para determinar su existencia.

Los perfiles de porosidad mas utilizados son el perfil sónico, el perfil de densidad y el perfil neutrónico.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

3.2.2 Geoquímica.

Una característica útil para la geoquímica es la relación directamente proporcional que existe entre la presencia de *bromo y potasio* en las rocas evaporíticas, y se emplea para la búsqueda de depósitos de potasa.

"El contenido promedio de bromo en la halita se encuentra entre 40 y 300 ppm por lo general, alcanzando esta última cifra justo antes del contacto con una capa de potasa. Algunas muestras ,dentro de la capa de potasa, de *carnalita* pura han dado valores de bromo entre 3,100 y 3,400 ppm, lo cual indica un rango de concentración primaria." (Braitsch, 1971).

(figura 2.6).

II.4 Ocurrencia mundial de depósitos de potasa asociados a evaporitas de origen sedimentario.

Parte determinante de esta investigación ha consistido en el estudio de las principales ocurrencias mundiales de potasa y su inclusión resumida en el presente trabajo, para futuras exploraciones. Lamentablemente, el secreto privado o estatal de las compañías y de algunos países, no nos ha permitido conocer con mayor detalle otros depósitos, por lo cual solo se mencionan en el acápite 4.11 al final del presente subcapítulo.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

4.1 Cuenca de Solikamsk, Rusia.

Solikamsk se encuentra ubicado a 200 km al norte de la ciudad de Perm y a 1200 km al nor-este de Moscú, en la margen izquierda de los Montes Urales Centrales.

Los depósitos evaporíticos se encuentran en una cuenca de edad pérmica de 1000 Km².

En la parte inferior de la secuencia evaporítica se encuentra una capa de halita de espesor variable entre 250 y 400 m. Le sobryace una capa de silvita de un espesor promedio de 20m con un contenido promedio de 13% de K₂O. Por encima de la capa de silvita se encuentra una capa de carnalita de un espesor de 65 m en promedio, de los cuales se afirma que 35 m son sales explotables de carnalita. Finalmente le sobryace una capa de silvita con un espesor de 30 m con capas explotables de 7 a 15 m con una ley promedio de 15% de K₂O.

La estratigrafía se resume en el siguiente cuadro:

Cuadro # : 2.2

ESTRATIGRAFIA SALINA GENERALIZADA DE LA CUENCA PERMICA DE SOLIKAMSK (RUSIA)				
#	Zona	K ₂ O (%)	Espesor (m)	Espesor Total (m)
4	silvita	15	30	515
3	carnalita	13	65	485
2	silvita	13	20	420
1	halita	--	250-400	400

Fuente : Bateman, 1957.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Las reservas se calculan en 15,000 millones de TM ,por lo cual es considerado el depósito de potasa más grande del mundo.

4.2 Cuenca de Zechstein, Europa.

La cuenca evaporítica de Zechstein, de *edad pérmica*, comprende parte de los actuales territorios de Polonia, Alemania, e Inglaterra, encontrándose también bajo el Mar del Norte. Sólo en Alemania cubre un área de 200,000 Km² de los cuales 62,000 Km² se consideran potencialmente productivos.

La estratigrafía se resume en el siguiente cuadro :

Cuadro # : 2.3

ESTRATIGRAFIA GENERALIZADA DE LA CUENCA ZECHSTEIN EN EL DISTRITO DE STASSFURT, ALEMANIA				
#	Zona	K ₂ O (%)	Espesor (m)	Espesor Total (m)
11	--	--	10	1110
10	Arcilla Roja	--	100	1100
9	Sal Joven	--	100-150	1000
8	Anhidrita	--	30- 90	850
7	Arcilla salina	--	6- 10	760
6	Carnalita	9.27	15- 40	750
5	Keiserita	2.17	20- 40	710
4	Polihalita	1.02	40- 60	670
3	Sal Antigua	tr	300-500	610
2	Anhidrita y Yeso	tr	60-100	110
1	Caliza marina	--	4- 10	10

Fuente : Bateman, 1957.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Los depósitos de potasa se han estudiado mejor en el distrito de Stassfurt, donde se descubrió por primera vez un gran yacimiento de potasa en el mundo.

Las reservas están estimadas en 3,500 millones de TM con una ley promedio de 9 a 13 % de K_2O .

4.3 Cuenca de Alsacia, Francia.

La cuenca ubicada al nor-este de Francia cubre un área de 200 km² y se encuentra limitada al sur por el Rio Jura, al oeste por el Rio Vargos y al este por el Rio Rhin.

Los depósitos evaporíticos terciarios (oligoceno) están constituidos principalmente por silvinita y se encuentran sin plegamiento. El 40% de la producción se emplea directamente en la agricultura mientras que el 60% restante se deriva a las pozas de evaporación para su refinación.

Las reservas se calculan en 1,800 millones de TM con un contenido promedio de 18% de K_2O .

4.4 Cuencas de Gabón y Congo, Africa.

Las cuencas de Gabón y Congo se encuentran ubicadas en la margen oeste del continente africano entre Gabón, Congo, Zaire y Angola. Estas cuencas junto con las cuencas de Douala (Camerún) y Cuanza (Angola) forman una

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

megaunidad en un área limitada al norte por el desnivel (escarpa) anómalo de Camerún y al sur por la Cordillera Walvis.

(figura 2.7).

La actual distribución salina indica que estas cuencas estuvieron conectadas en la época de la deposición evaporítica, en el *cretáceo inferior*.

Las evaporitas han sido estudiadas apropiadamente en la cuenca Congo por Belmonte (1965) y Lambert (1967) rescatando la virtual ausencia de carbonatos y sulfatos y la alta proporción de carnalita.

El ciclo evaporítico básico de la cuenca Congo es *regresivo* o "*normal*" y está representado desde la base al tope por una secuencia delgada de lutita negra, seguida por un estrato de halita y este seguido por una mezcla de halita y carnalita con un miembro final de bischofita ó tachydrita.

"La composición química de la sección evaporítica de la cuenca Congo sugiere fuertemente que el agua salada que penetró la cuenca durante el Aptiano ya estaba enriquecida en componentes altamente solubles." (Evons, 1978).

Las sales de la cuenca Congo son muy ricas en carnalita.

Las reservas totales de potasa "in-situ" están estimadas en varios miles de millones de toneladas.

En el área de explotación ocurren dos estratos ricos; el estrato "# 7/8", más alto, se extiende sobre un área de 28 km²,

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

siendo su promedio neto de espesor de 1.9 mt. y su contenido de K_2O de 18%. El otro estrato "# 3" tiene en promedio un espesor de 3 mts. y su contenido de K_2O alcanza 38 %, lo cual lo ubica como uno de los depósitos más ricos del mundo.

Las reservas probadas están estimadas en 26 millones de TM. de K_2O .

4.5 Cuenca Williston, América del Norte.

La Cuenca Williston comprende la parte nor-este de los Estados Unidos y sur-este de Canadá.

El depósito de potasa cubre una extensión de 36,000 Km² en los Estados Unidos. Estos depósitos son datados como del *devoniano medio* y ocurren en estratos dentro de la formación *Prairie*. (figura 2.8).

La formación *Prairie*, que es una secuencia evaporítica depositada en la cuenca, esta compuesta principalmente de halita, pero también contiene potasa y anhídrita. La subyace la formación *Winnipegosis* en conformidad y le sobreyace la formación *Dawson Bay* también en conformidad, ambas compuestas principalmente por carbonatos.

La formación *Prairie* se ha dividido en tres miembros. En la base el *miembro Belle Plaine*, sobreyacido por el *miembro Esterhazy* y éste por el *miembro Mountrail*, llamado *miembro Patience Lake* en Saskatchewan (Canadá).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

"Los pocos datos mineralógicos disponibles acerca de la formación Prairie, en el lado norteamericano de la cuenca, indican que ésta es similar a la formación Prairie en Saskatchewan e incluye halita, silvita y carnalita." (Sidney, 1979).

"La carnalita en Saskatchewan se encuentra mayormente limitada a las márgenes norte y este, de cada uno de los tres miembros de potasa." (Holter, 1969).

"La carnalita en la parte de los Estados Unidos de la cuenca ocurre limitada al miembro Esterhazy.

Las reservas totales de potasa de la cuenca Williston en territorio de los Estados Unidos , están estimadas aproximadamente en 60,000 millones de TM.

No hay un estimado de las reservas recuperables." (Sidney, 1979).

4.6 Cuenca del Ebro , España.

Al nor-este de España se encuentra la cuenca del Ebro donde yace el campo Catalán de potasa, repartido entre las provincias de Barcelona y Lérida. (figura 2.9).

Los depósitos evaporíticos *terciarios* son parte del extremo este del actual valle del Ebro, y se encuentran limitados hacia el norte y el oeste por el piedemonte pirenaico, hacia el sur y el este por las cuencas Igualada y Vic y hacia el sur-oeste por

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

la meseta de Cervera. La extensión del depósito de potasa es de aproximadamente 2,600 Km².

La secuencia sedimentaria de rocas evaporíticas de Cardona es típica de una cuenca evaporítica de aguas profundas y corresponde a un depósito "normal" o regresivo. En la parte inferior tenemos a la Formación Igualada, que consiste mayormente de lutitas bituminosas. Le sobreyace las capas evaporíticas de la Formación Cardona que se divide en 4 miembros :

El miembro inferior que sobreyace a la Formación Igualada se denomina *miembro Anhidrita Basal*, y consiste de anhidrita con una potencia de 5 a 10 m.

Le sobreyace *el miembro "Sal Vieja"*, consistente de una capa de halita masiva de 150 a 350 m.

Más arriba se encuentra *el miembro "Silvinita"* con un espesor de 6 a 25 m.

Completa la formación Cardona, *el miembro "Sal Joven"* conformado por capas de carnalita y halita que suman un espesor de 40 a 80 m.

Por último, sobreyacente se ubica la **Formación Artes**, consistente en una secuencia de "capas rojas", transicional de las evaporitas a la molasa, de 30 a 50 m. de espesor, con lutitas intercaladas por capas de gipsita y halita.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

La secuencia estratigráfica salina se resume en el siguiente cuadro :

Cuadro # : 2.4

ESTRATIGRAFIA SALINA GENERALIZADA EN LA CUENCA DEL EBRO ESPAÑA			
<i>Formación</i>	<i>Miembro</i>	<i>Litología</i>	<i>Espesor</i>
Fm. Artes (capas rojas)		lutitas intercaladas con gipsita y halita.	30-50 m.
	Sal joven	carnalita, halita	40-80 m.
Fm. Cardona (evaporitas)	Silvinita	silvinita, carnalita	6-25 m.
	Sal vieja	halita masiva	150-350 m.
	Anhidr.basal	anhidrita	5-10 m.
Fm. Igualada (lutitas)		lutitas bituminosas	?

Fuente : Ramirez, 1986.

En el contexto tectónico se observa que las tres formaciones citadas fueron sometidas a presiones laterales por el desplazamiento meridional de los piedemontes pirenaicos, durante la orogénesis Alpina-Pirinea del terciario.

La explotación se efectúa de estratos salinos a una profundidad entre 300 y 800 mts., en las minas de Llobregat y de Suria y por un estrato inclinado en las minas Cardona, que a lo largo de cuatro kilómetros profundiza mil metros bajo tierra.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Las reservas conjuntas de esta cuenca se estiman en :

- Reservas probadas de : 50 millones de T.M.
- Reservas probables de : 250 millones de T.M.
- Reservas prospectivas de : 500 millones de T.M.

4.7 Cuenca Amazónica, Brasil.

La cuenca Amazónica es una extensa cuenca paleozoica ubicada en la parte norte del Brasil que contiene una gruesa secuencia de anhidrita y halita. (figura 2.10).

La secuencia evaporítica en sí es del *permiano inferior*. Esta se encuentra subyacida por el carbonífero superior representado por calizas y areniscas de aguas someras, y sobreyacida por los depósitos de lutitas rojas de un ambiente lacustrino-continental del permiano superior- triásico inferior. Como se observa, la secuencia evaporítica es sólo *regresiva* o "normal", transicional entre una secuencia subyacente de mar abierto y una secuencia sobreyacente continental.

La secuencia es cíclica, como son la mayoría de las secuencias evaporíticas, y cada ciclo sucesivo está representado por facies mas continentales que el ciclo anterior. De esta forma, sólo en el último ciclo la cuenca se subdivide en varias subcuencas donde las aguas alcanzan un

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

mayor grado de evaporación para depositarse primero halita de grano fino con un alto contenido de bromo y luego silvita.

(figura 2.11).

Se desconoce la reserva de sales de potasa en esta cuenca.

4.8 Área de Salt Spring, Canadá.

El área de Salt Spring se encuentra ubicada en el condado de Kings, en New Brunswick, Canadá, a unos 56 km. al nor-este del puerto de Saint John y aproximadamente a 24 km. al sur-oeste de Sussex. El área en total cubre 200 km².

(figura 2.12).

"Los sedimentos carboníferos del este de Canadá se depositaron en un extenso graben o estructura rift, conocida como el epieugeosinclinal Fundy, el cual consiste de varias subcuencas, siendo una de ellas la subcuenca Moncton." (Kelly, 1970).

Los depósitos sedimentarios del *carbonífero*, que albergan las evaporitas, se encuentran en el sinclinal de Marchbank el cual se ubica en la parte meridional de la subcuenca de Moncton.

Estos sedimentos se han dividido en 4 grupos: Horton, Windsor, Hopewill y Riverdale. (figura 2.13).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

La litología del grupo Windsor, que es la de nuestro interés, se compone de anhidrita, halita, silvinita y/o carnalita con lutitas rojas-marrón a grises y areniscas en proporciones variables.

Este grupo se divide en tres formaciones que se describen a continuación:

-La *formación Upham* en la base, subdividida en el miembro Devine Corner, caracterizado por la presencia de caliza, de laminada a masiva, levemente coloreada, y en el miembro Upperton, compuesto principalmente de anhidrita masiva.

Le sobreyace la *formación Cassidy Lake*, que es la que contiene las evaporitas de alto grado, la cual se divide en cuatro miembros para su mejor identificación. El miembro "Basal Halite", consistente de halita de mediana a gruesamente cristalina, muy ligeramente gris, variando en espesor desde 1.5 m cerca al margen meridional a más de 150 m en la parte central. Le sobreyace el miembro "Middle Halite", consistente de halita cristalina de grano medio, de marrón muy claro a marrón claro, variando desde un mínimo de 25 m a lo largo de la margen meridional a un máximo de poco más de 80 m en la parte central del depósito. Le sigue encima el miembro "Potash" el cual consiste de dos submiembros, uno de ellos llamado "Silvinitite Bed", (capa de silvinita), caracterizado por una mineralización de silvinita mayor al 15% de KCl, principalmente

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

compuesta de cristales de silvita de color rojo-ladrillo a rojo-sangre, en una matriz de halita finamente cristalina de color marron oscuro a naranja oscuro, debido a trazos cuantitativos de arcilla diseminada. El espesor de este miembro varía de 20 a 50 mts.

Finalmente el Miembro "Upper Salt", se caracteriza por capas de halita naranja y marron, capas de silvinita roja laminada, lutitas y anhidrita gris laminada y por la presencia de ciertos minerales boratados.

Culmina el grupo la *formación Clover Hill*, en el tope de la secuencia, la cual se divide en dos miembros, uno inferior caracterizados por anhidrita y otro superior caracterizado por lutita gris verde, la cual marca el retiro del mar de Windsor y el final de la deposición evaporítica.

4.9 Meseta de Khorat, Asia.

La meseta de Khorat se encuentra ubicada en el nor-este de Tailandia y la parte central de Laos.

(figura 2.14).

La zona de interés se ubica entre dos cinturones orogénicos estructuralmente complejos que se ubican a lo largo de los bordes este y oeste. (figura 2.15).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Los depósitos de potasa en la meseta de Khorat se encuentran en la *formación Maha Sarakham* de edad *cretácea*. Esta formación se extiende por un área de 57,000 Km² que en su totalidad representa una secuencia continental de capas rojas con limonita, arenisca y lutita, en las cuales se encuentran intercaladas las evaporitas marinas.

La unidad basal de la secuencia es una capa delgada de anhidrita, pero persistente, que se considera la roca guía para los depósitos de potasa.

Le sobreyace el miembro "Lower Salt" que consiste principalmente de halita, al cual le sobreyace el miembro "Lower Clastic" el cual está constituido por lutita roja.

Sobre el "Lower Clastic" se encuentra otra unidad de halita, conocida como miembro "Middle Salt", la cual a su vez se encuentra sobreyacida por una unidad constituida de lutita roja, denominada como miembro "Middle Clastic" y finalmente culmina la formación con el miembro "Upper Salt" consistente en una capa de halita.

La geología estructural no está aún bien determinada ya que la mayor parte de la región se encuentra cubierta por una gruesa capa de suelo y vegetación. Las perforaciones indican una ley promedio en las capas de potasa de 20 a 27% de K_2O y las reservas de este depósito están estimadas en 500 millones de TM.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

4.10 Cuenca de Nuevo México-Texas, Estados Unidos.

La cuenca se ubica entre los estados de Nuevo México (parte sur-este) y de Texas. Tiene una extensión total de 100,000 Km² de los cuales 82,5 km² cerca a la ciudad de Carlbad (Nuevo México) contienen depósitos rentables de potasa.

Los depósitos evaporíticos de Carlbad pertenecen al pérmico y se encuentran a una profundidad promedio de 300 m. La capa desde donde se extrae la silvinita tiene un espesor variable de 1,5 a 3,5 m con un contenido promedio de 26 a 27 % de K₂O.

Las reservas se estiman en 400 millones de TM.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

4.11 Resumen de las principales ocurrencias de potasa en el mundo.

En resumen las ocurrencias mundiales mas importantes de potasa se indican en el siguiente cuadro y en la figura 2.16.

Cuadro : # 2.5

OCURRENCIAS MUNDIALES DE DEPOSITOS DE POTASA			
<i>Epoca</i>	<i>Ocurrencia</i>	<i>Ley Promedio (% de K₂O)</i>	<i>Reservas(1) (en Millones TM de K₂O)</i>
T(Mio)	Cuenca Ebro (España)	11-15	250
T(Mio)	Área Kalisk (Polonia)	16	200
T(Olg)	Cuenca del Rin (Francia)	17	1,800
K-sup	Meseta Khorat(Asia)	20-27	500
K-inf	Sergipe(Brasil)	---	440
K-inf	Cuencas Gabón-Congo(África)	18-38	26
P-sup	Cuenca Zeichsten (Alemania)	9-13	1,760
P-inf	Cuenca Amazónica (Brasil)	---	--
	Cuenca New México-Texas(USA)	26-27	400
P-¿?	Área Solikamsk(Rusia)	13-15	24,900
C-sup	Área Salt Spring(Cánada)	---	--
D-med	Cuenca Williston(USA-Cánada)	---	10,700

Total Reservas Mundiales :			40,976

Fuente (1) : US Dept. of Interior Bureau of Mines, 1988.

II.5 Principales depósitos de Potasa en el Perú.

5.1 Depósitos confirmados de asociación evaporítica.

La ocurrencia confirmada de potasa en el Perú se limita a las Salmueras de Ramón en Sechura.

5.1.1 Salmueras de Ramón, Sechura.

Historia.

En 1956 la Sociedad Geológica del Perú publica en su boletín un artículo sobre estudios geológicos en la costa norte del país, obteniéndose las primeras referencias sobre las salmueras.

Dos años después, en agosto de 1958, llega al Perú George Nicol, siguiendo pautas científicas de la Universidad de Standford, y se asocia con el ingeniero peruano Alberto Terrones para formar la compañía de Minas "Jorge Alberto S.A.", realizando en los dos años siguientes estudios respecto a los fosfatos y las salmueras de Sechura, encontrando leyes comerciales. A finales de 1960 hay varias compañías extranjeras interesadas en su explotación.

En 1963 se crea la compañía "Minera Bayovar S.A." e inicia conversaciones con el gobierno peruano, al término de las cuales firmó contrato para la explotación de los fosfatos y

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

salmueras con una inversión no menor a 15 millones de dolares USA.

En 1967 Minera Bayovar S.A. al no poder financiar el proyecto lo negocia al grupo norteamericano "Kaiser Aluminum Co" de Oakland ,California.

En 1968 se produce un golpe de estado en el país, cambiando de gobierno repentinamente. Durante ese año y el siguiente la Kaiser busca negociar con el nuevo gobierno, pero al no llegar a un acuerdo deja el denunció minero, el cual revierte al estado.

En 1970 el gobierno encarga a Minero Perú la formación de una comisión para estudiar el proyecto de la Kaiser.

A partir de entonces hasta 1979 Minero Perú efectúa estudios y trabajos de campo, determinando la rentabilidad del proyecto y diseñando su distribución en el terreno.

(figuras 2.19 y 2.20).

Ubicación.

Se encuentran ubicadas en el desierto de Sechura a 20 km al este del pueblo del mismo nombre, en el departamento de Piura. Es el único depósito confirmado de potasa en el Perú, que cuenta con varios estudios realizados por Minero-Perú entre 1975 y 1979, entre los cuales destaca el estudio geológico

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

realizado en 1976, cuando se efectuaron perforaciones y trincheras para ubicar las reservas.

Geología.

En resumen el reservorio de salmueras de Ramón consiste en una cuenca alargada en dirección Norte-Sur, ubicada en el desierto de Sechura, de unos 80 km de largo por 20 km de ancho, con una profundidad promedio de 8 mts.

Esta cuenca se originó a fines del pleistoceno, contemporáneamente al desarrollo de las llanuras inundables, en donde la denudación logró alcanzar los niveles superiores e impermeables de la formación Zapallal consistente en diatomitas y arcillas diatomáceas, principalmente.

En el periodo reciente la cuenca fue rellenada con sedimentos marinos y fluviales altamente porosos y permeables compuestos por arenas limpias, guijarros, coquinas y cantidades menores de arcillas.

La fuente de las salmueras no ha sido totalmente determinada, pero se cree que correspondan a los restos de un mar regresivo.

La composición química de estas salmueras comparándolas con el agua de mar y otros depósitos, es la siguiente:

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # : 2.6

COMPOSICION QUIMICA COMPARATIVA DE LAS SALMUERAS DE RAMON CON EL AGUA DE MAR Y OTROS DEPOSITOS						
		<i>densidad</i>	----- <i>Porcentajes (%)</i> -----			
		<i>gr/cm³</i>	<i>K</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>Cl</i>
Agua de mar	(1)	1.020	0.05	0.14	1.31	2.16
Huacho	(1)	1.080	0.11	0.33	2.89	5.50
Ramón	(1)	1.210	0.41	1.30	8.47	16.0
Mar Muerto	(2)	---	0.60	3.33	3.21	17.3
Gran Lago Salado	(2)	---	0.65	1.00	8.00	14.0

Fuentes : (1) Minero Perú, 1976.
(2) Boletín Minero-Chile, Agosto 1988.

Se observa que el contenido de K⁺ en porcentaje es cuatro veces superior al de las Salinas de Huacho, pero dos terceras partes del contenido del K⁺ del Mar Muerto (Israel-Jordania) y del Gran Lago Salado (Estados Unidos).

Reservas.

Las reservas probadas y probables, según la misma fuente ascienden a :

Cuadro # : 2.7

RESERVAS DE LAS SALMUERAS DE RAMON, SECHURA (en millones de TM)			
<i>Tipo de Reservas</i>	<i>KCl</i>	<i>MgCl₂</i>	<i>NaCl</i>
Reservas probadas	0.90	7.70	18.8
Reservas probables	3.97	33.80	85.9

Fuente : Minero Perú, 1976.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Esto permite calcular la vida probada del yacimiento en 9 años y la vida probable en 40 años, considerando una explotación anual de 100,000 TM de KCl.

Explotación y Beneficio.

La explotación y beneficio, se realizaría por el método de evaporación. Las salmueras serían bombeadas a superficie y depositadas en pozas o estanques poco profundos, para luego ser sometidas a la acción solar. Por diferencia de densidades y con la ayuda de reactivos se le sometería a una cristalización fraccionada obteniéndose las diversas sales, entre las cuales se encontraría la carnalita (cloruro de potasio y magnesio) y en menor proporción la silvita (cloruro de potasio), como fuentes de la potasa.

Administración pasada y actual.

El plan general para el proyecto Salmueras de Ramón elaborado por Minero Perú en 1975 contempló una extracción de 22 millones de TM/año de salmueras para una producción en planta de 100,000 TM/año de potasa con un equipo aproximado de 110 personas. (figura 2.17).

Es importante mencionar que durante el gobierno de 1968 a 1975 se desarrolló el mega-proyecto Bayovar, un gran complejo

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

que consideró la construcción de siete instalaciones industriales entre las cuales se incluyó las Salmueras de Ramón. (figura 2.18).

En la actualidad este yacimiento se encuentra en manos de la Empresa Minera Regional Grau Bayovar S.A., la cual se encuentra en proceso de privatización.

El depósito de Ramón, al igual que los demás que pertenecen a esta empresa, se ha considerado como un módulo independiente para su privatización con un área total de 49,400 hectáreas comprendidas entre las coordenadas UTM, 9,354,000 N. y 9,370,000 N. y las coordenadas 529,000 E. y 548,000 E. de la zona 17.

5.1.2 Depósitos de potasa de capas subterráneas y/o domos salinos.

No se tiene conocimiento de la existencia de depósitos de este tipo en el Perú.

En varias regiones se han identificado secuencias de rocas evaporíticas de distintas épocas geológicas, pero estas parecen ser todas de bajo grado, tales como anhidrita, yeso y halita en algunos casos. Sin embargo un estudio de estas series evaporíticas nos permite ubicar áreas de posibles ocurrencias de yacimientos de potasa.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

5.2 Depósitos confirmados o por confirmar de otros
origenes.

5.2.1 Depósitos de feldespatos potásicos.

Según los estudios realizados por la Misión Española, que evaluó los recursos minerales no-metálicos en el Perú en 1979, se ubicaron tres depósitos de feldespatos potásicos en el país: uno en la provincia de Chachapoyas (Amazonas) , otro en la provincia de Celendin (Cajamarca), y un tercero en la provincia de Islay (Arequipa).

"Se trata de depósitos de feldespato potásico, fundamentalmente de ortoza que aparece incluida en rocas graníticas o sieníticas, formando bolsonadas y vetas irregularmente repartidas. Los depósitos son explotados a cielo abierto mediante voladura, seleccionando a mano el material." (Misión Española, 1979).

El informe de la misión española no indica la ubicación exacta de estos depósitos.

5.2.2 Depósitos de costas áridas.

En 1917, el ingeniero G. Rodríguez reportó la existencia de depósitos de nitrato de potasio, encontrándose los principales en las siguientes localidades

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

a- Santiago de Cao, (Nepeña, Chiquitoy y
Tres Palos) - La Libertad.

"En las proximidades del pueblo de Santiago de Cao, en el departamento de La Libertad, cerca del mar, se encuentra *nitrate de potasio* en una extensión de 71,500 m². Así mismo en Tres Palos y Chiquitoy, entre Huanchaco y Santiago de Cao, al pie del Mar existen 130,000 m² donde se encuentra *nitrate de potasio*." (Rodríguez , 1917).

b- Huarmey, Ancash.

"En las proximidades y al norte del puerto de Huarmey se encuentra *nitrate de potasio*, en un terreno muy quebrado y rico en despojos orgánicos, que debe haber sido un antiguo cementerio de la época incaica. La superficie que contiene *nitro* , susceptible de ser explotada, se eleva a 238,400 m². En la época colonial este yacimiento fue explotado intensamente." (Rodríguez, 1917).

c- Mala, Lima.

"Casi en la desembocadura del río Mala y frente a la casa del fundo "Salitre", existen vestigios de tierra salitrosa en un terreno desigual y que ha sido una antigua necrópolis incaica." (Rodríguez, 1917).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Una visita realizada a este lugar confirmó que el área se encuentra totalmente invadida por poblaciones y sin vestigios de mineralización superficial.

Estos depósitos, como los de Chan-Chan (La Libertad), La Fortaleza y Supe (Lima), probablemente se encuentren invadidos por poblaciones actuales o agotados por una sobre-explotación durante las primeras décadas del siglo.

La productividad actual requiere de una investigación particular.

Estos antiguos depósitos reportados se resumen en el siguiente cuadro :

Cuadro # : 2.8

ANTIGUOS DEPOSITOS DE NITRATO DE POTASIO EN EL PERU					
<i>Lugar</i>	<i>Dpto.</i>	<i>Area (has.)</i>	<i>Volumen (TM)</i>	<i>KNO₃ (%)</i>	<i>Prod./día (TM)(1)</i>
Chan-Chan(*)	L.L.	401	33,100	?	15.6
Stgo de Cao	L.L.	202	15,160	4.20	6.8
Huarmey	Ancash	238	17,900	4.10	8.0
Fortaleza(*)	Lima	96	7,200	?	3.7
Supe	Lima	85	6,400	?	3.0
Mala	Lima	?	?	?	?
TOTALES :		1,062	79,800		37.1

Fuente : Rodríguez, 1917.

(1) Estimada en 1917.

(*) Lugares reservados en la actualidad por el Instituto Nacional de Cultura.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

5.3 Posibles ocurrencias en el Perú de depósitos de potasa de asociación evaporítica.

Para determinar la ubicación de posibles depósitos de potasa debemos estudiar geológicamente la ocurrencia de las evaporitas de bajo grado (calizas, anhidrita, yeso y halita), las cuales nos guiarán hacia una ocurrencia de potasa, determinando primeramente la geometría y estratigrafía de la cuenca evaporítica.

Un resumen suscito de estas ocurrencias en el Perú, nos permite señalar determinadas regiones para explorar preferencialmente. (plano # 2.1).

5.3.1 Tiempo geológico y áreas favorables para la ubicación de depósitos de potasa.

a- En el Paleozoico.

Los depósitos evaporíticos del paleozoico superior en el Perú, que se depositaron durante el missisipiano en cuencas poco profundas, aisladas y restrictas, son de bajo grado y se conocen como el Grupo **Ambo**, y consiste en sedimentos continentales carbonatados y detríticos.

Posteriormente en el pensilvaniano medio una transgresión marina inundó los Andes. En este océano se depositaron lutitas bituminosas negras a grises intercaladas con limolitas lenticulares gris-oscuro, a las cuales se les conoce como Grupo

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Tarma y puede ser considerado como serie basal de una secuencia evaporítica. "Este grupo tiene espesores entre 300 y 600 mts , y en la región de Tarma contiene pequeñas cantidades de yeso, evidencia de deposición evaporítica, las cuales se explotan en Rinrihuain y en Pomacocha." (Benavides, 1968).

Más adelante, la transgresión del Permiano inferior se extendió por el Perú, depositando sedimentos predominantemente marinos, que son conocidos como el Grupo Copacabana, compuesto primariamente de calizas masivas y lutitas negras bituminosas, con pequeñas cantidades de dolomita, limolitas y areniscas de grano fino. La unidad tiene un espesor máximo de 1800 m en el lado Este.

Al terminar el Leonardiano una orogenia elevó el margen oeste, restringiendo los ambientes marinos, produciendo además el engrosamiento y heterogeneidad de las capas rojas que conforman el sobreyacente Grupo Mitú, transicional desde la secuencia subyacente carbonatada del Permiano, y entre los que hay también una evidencia de deposición evaporítica. Las sales en el Domo de San Blas, localizado al lado sur-oeste del Lago de Junin, son posiblemente de edad pérmica.

"En el valle del río Marañon, en un lugar cubierto cerca de la desembocadura del tributario Amujao, se encuentran bastantes estratos de sal de grandes espesores, asociados a rocas del

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

paleozoico superior, que permiten operaciones de explotación."
(Benavides, 1968). (Plano # 2.2).

b- En el Mesozoico.

La primera transgresión marina del mesozoico ocurrió en el triásico superior, por lo que no se encuentran estratos marinos del triásico inferior y medio.

El Grupo Pucará de composición carbonática, del triásico superior, yace inconforme sobre las capas rojas del Grupo Mitú del Permiano.

"En el valle del Utcubamba (Amazonas), a unos 3 km del pueblo de Ingenio, se encuentran restos de dolomitas masivas y calizas de edad Triásico sobre capas de yeso que parecen ser también del Triásico. En el mismo lugar existe una vertiente salada, la cual se evapora para obtener "sal doméstica"."
(Benavides, 1968).

Los depósitos del jurásico inferior (sinemuriano) son transgresivos y se encuentran en gran parte sobre depósitos del triásico. Sin embargo la sedimentación normal marina se interrumpió por una gran regresión hacia el jurásico medio. Los estratos contienen anhidrita y gipsita.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

" En el valle de Utcubamba yacen gruesos depósitos de yeso sobre la sección carbonatada del grupo Pucará." (Benavides, 1968).

Al Grupo Pucará le sobreyace las "capas rojas" de la **Formación Sarayaquillo** que son transicionales desde este y entre las cuales se han depositado las secuencias evaporíticas citadas.

"Cerca de la Merced (Junín), los "Cerros de la Sal" se atribuyen también a la formación Sarayaquillo, en el cual están presentes estratos y vetas de sal gema .

Gran parte de los Domos de Sal de la Región del Huallaga (San Martín) están asociados a la Formación Sarayaquillo. La mayoría de las evaporitas encontradas en los afloramientos de las estructuras diapíricas son masas de yeso y anhidrita. Solo se conocen unos pocos afloramientos de halita, fuertemente impregnadas color rosado y rojo, con lutitas purpura o limolitas en estratos contorneados." (Benavides, 1968).

(Plano # 2.3).

En el jurásico superior, el titoniano inferior marcó el comienzo del mayor ciclo sedimentario del periodo cretáceo.

La regresión del cretáceo inferior también está representada en el Perú.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

"Las calizas de la formación Santa del Valanginiano gradan hacia arriba dentro de estratos de yeso que han sido seguidos a lo largo del Callejón de Huaylas (Ancash) y más al Norte." (Benavides, 1956; Cruzado, 1959).

Estos estratos se han interpretado como indicadores de restrictas condiciones marinas.

"En el cretáceo medio y superior, en la región de Arequipa, las "calizas Arcurquina" están sobreyacidas por una secuencia estratigráfica de yeso masivo que contienen algunas capas de sal, conocida como la formación Chilcane, con un espesor de 40 m. Se explota sal de este horizonte en Lluta, cerca de Huanca (Arequipa) y en Huarhua, cerca de Cotahuasi (Arequipa)." (Benavides, 1968).

En la región del Cuzco el deposito basal de la transgresión cretácea está compuesto de areniscas cuarzosas y lutitas en delgadas capas interestratificadas. Estas capas son litológicamente similares a los estratos del Grupo Moho inferior del área del Lago Titicaca, y a la formación Murco de Arequipa. Esta secuencia basal se encuentra sobreyacida por la formación Yuncaypata del cretáceo medio, la cual está compuesta de calizas gris-oscuro, lutitas, varias capas de anhídrita y finalmente de una delgada capa de halita. La formación Yuncaypata se encuentra sobreyacida por capas de yeso de 30 m

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

de espesor, que a su vez están sobreyacidas por una secuencia de yeso con intercalación de "capas rojas", la cual es transicional hacia una secuencia completa de "capas rojas", secuencia típica de cuencas evaporíticas.

"En Maras (Cuzco) existe una vertiente salada , desde la cual se obtiene "sal doméstica", por evaporación en estanques. El origen de esta "sal" se atribuye a la formación Yuncaypata.

En Uchupata, al lado norte del Rio Pushca, la transición de la formación Celendín del cretáceo superior (coniaciano - santoniano), a la formación Chota (Casapalca) también del cretáceo superior (campaniano) tiene lugar a través de unidades yesíferas." (Benavides, 1968).
(Plano # 2.4).

c- En el Cenozoico.

Las "capas rojas" de las formaciones **Yahuarango** y **Chambira** contienen intercalaciones altamente yesíferas, indicadoras evidentes de condiciones evaporíticas.

También la formación **Scotillo** (Jenks, 1948) y el Grupo **Puno** (Newell, 1949), ambos capas rojas, contienen unidades yesíferas.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Todas estas ocurrencias se presentan esquemáticamente en el siguiente cuadro :

Cuadro # : 2.9

OCURRENCIA DE EVENTOS EVAPORITICOS EN EL PERU Y SU CORRELACION CON EVENTOS MUNDIALES				
<i>Epoca</i>	<i>Evento</i>	<i>Ocurrencia en el Perú</i>	<i>Formación o Grupo</i>	<i>Equivalencia Mundial</i>
Terciario (Mioceno)	7	Costa sur Subandino N.	Moquegua S. Chambira	Ebro Kalisk
Terciario (Oligoceno)	6	Costa sur Subandino N.	Moquegua I. Yahuarango	Rhin
K-sup	5	Nor-andino	Casapalca - Celendín	Khorat
K-sup K-med	T - R 4	Sur-andino	Chilcane - Arcurquina	
K-inf J-sup	T - R 3	Nor-andino	Carhuaz - Santa	Sergipe Gabon-Congo
J-med Tr-sup	T - R 2	Subandino N.	Sarayaquillo - Pucará	
P-sup P-inf	T - R 1		Mitú - Copacabana	Zeichsten Amazónica Texas
C-sup	T - E		Tarma	Salt Spring
C-inf	T - E		Ambo	
D-med				Williston

Fuente: Carbone, 1994.

Donde: T - Transgresión
R - Regresión
E = Erosión

5.3.2 Depósitos probables de edad reciente.

En el cuaternario, la geomorfología destaca la faja costera como una región favorable para la ocurrencia de depósitos de potasa, por su aridez, entre los cuales tenemos la Bocana de Virrila y la Depresión de Salina Grande, ambas en la región de Sechura, Piura. (figura 2.21).

a- Bocana de Virrila, Sechura.

La Bocana de Virrila, se encuentra localizada en la parte central del desierto de Sechura e ilustra principalmente una deposición evaporítica. (figura 2.21).

La Bocana se considera como un estuario marino de unos 20 km de largo por 2 km de ancho.

En la Bocana , estudios realizados por Morris & Dickey, determinaron una concentración natural de sales desde el agua normal del mar, con un contenido de 35,000 ppm, hasta el extremo final donde alcanzo valores mayores a 350,000 ppm de sales, 10 veces superior a la normal. También determinaron una estratificación vertical en la salinidad.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Los resultados obtenidos fueron los siguientes :

Cuadro # : 2.10

ANALISIS QUIMICO DE LAS AGUAS EN EL ESTUARIO DE VIRRILA					
<i>ION</i>	<i>Agua Normal del Mar (gr/lt.)</i>	<i>Loc E sup. (gr/lt.)</i>	<i>Loc C sup. (gr/lt.)</i>	<i>Loc C inf. (gr/lt.)</i>	<i>Loc A sup. (gr/lt.)</i>
K ⁺	0.38	2.31	1.43	1.93	9.96
Na ⁺⁺	10.57	26.11	40.52	58.55	67.50
Ca ⁺⁺	0.40	0.96	1.00	1.04	0.30
Mg ⁺⁺	1.27	3.45	5.58	8.34	39.61
Cl ⁻	18.98	48.99	74.2	107.92	190.20
SO ₄ ⁻⁻	2.65	6.87	9.57	13.49	46.42
HCO ₃	0.14	1.75	0.17	0.24	0.95
TOTAL:	34.39	88.86	132.45	191.49	354.94

Fuente : Morris & Dickey, 1957.

La alta evaporación y la escasa precipitación en el desierto de Sechura y la concentración natural de sales, convierten al Estuario de Virrila en un potencial depósito de sales de potasa.

b- Depresión de Salina Grande ó Sechura, Sechura.

La depresión de Salina Grande se encuentra ubicada a 20 km al sur de la Bocana de Virrila y consiste en

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

una cuenca oval de 19 km de diámetro mayor por 14 km de diámetro menor, con una profundidad promedio de 8 m.

(figura 2.21).

La depresión esta labrada por procesos denudatorios que han erosionado el tablazo de Talara y la parte superior de la formación Zapallal. El fondo de la depresión es plano y esta cubierto por arenas salitrosas y/o agua salada. Por efecto del viento, la cuenca recibe constantemente arenas eólicas las cuales están colmatándola.

La depresión también puede considerarse como un potencial depósito de potasa.

En la estación meteorológica mas cercana, ubicada en la ciudad de Piura, (Latitud 04 grados 34' Sur y Longitud 81 grados 16' Oeste) se han registrado entre 1990 y 1993 las siguientes condiciones meteorológicas :

Cuadro # : 2.11

TEMPERATURAS MAXIMAS Y MINIMAS PROMEDIO, Y PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN LA ESTACION METEOROLOGICA DE PIURA-PERU (1990-1993)				
	<i>1990</i>	<i>1991</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>
TEMP. MAX. MEDIA (C)	31.4	31.9	32.1	31.3
TEMP. MIN. MEDIA (C)	19.0	19.6	20.1	20.1
PRECIPITACIONES (mm)	1.2	6.0	134.0	46.0

Fuente: Departamento de Climatología, CORPAC S.A.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Estas características climatológicas de altas temperaturas y escasas precipitaciones son muy favorables para la concentración natural de sales.

5.4 Estimación de Reservas en el Perú:
mineral probado, y probable.

La estimación de reservas de potasa en el Perú, se sustenta en las encontradas en el desierto de Sechura y se refieren fundamentalmente a las áreas de Ramón, Zapallal, y Ñamuc.

Las reservas se indican en el siguiente cuadro :

Cuadro # : 2.12

RESERVA NACIONAL DE POTASA - SECTOR DE SECHURA (en millones de TM)		
<i>Zona</i>	<i>Probadas</i>	<i>Probables</i>
Ramón	0.90	3.97
Zapallal	0.70	2.94
Ñamuc	0.31	1.36
TOTALES :	1.91	8.27

Fuente : Minero Perú, 1978.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

5.4.1 Valor de las reservas.

Según cifras del cuadro anterior, el valor de las reservas probadas se puede estimar en:

171.9 millones de dolares USA.

Considerando un precio promedio para 1995 de \$USA 90/TM.

**II.6 — Salinas de Chilca, como depósito de
asociación evaporítica.**

6.1 Ubicación y Acceso.

El área de Las Salinas de Chilca se encuentra ubicada en el kilometro 67 de la carretera Panamericana Sur, departamento de Lima, provincia de Cañete, distrito de Chilca, (fotos # 2.1 y 2.2), entre las coordenadas UTM 312,000E - 314,000E y 8,612,000N - 8,614,000N, correspondientes a la hoja 26-j MALA del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:100,000. (Plano # 2.5).

El acceso se efectúa partiendo desde la ciudad de Lima por la carretera Panamericana Sur, según el siguiente itinerario:

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # : 2.13

ACCESO A LAS SALINAS DE CHILCA			
<i>TRAMO</i>	<i>CARRETERA</i>	<i>DISTANCIA (km)</i>	<i>TIEMPO (minutos)</i>
Lima-Chilca	Asfaltada	64	60
Chilca-Las Salinas	Asfaltada	3	3
Totales:		67	63

6.2 Metodología de trabajo.

El trabajo de campo se realizó entre el 19 y 26 de Enero de 1995 y tuvo como objetivos los siguientes :

1-Realizar un muestreo referencial del área de las salinas y alrededores además del agua de mar.

2-Efectuar el mapeo geológico de la zona a escala 1:25,000.

3-Determinar el índice de evaporación en la región en época de verano.

4-Registrar fotográficamente los rasgos geológicos y mineralógicos más importantes.

El trabajo de gabinete se realizó entre el 2 y 26 de febrero de 1995 y consistió en :

1-Interpretar los datos geológicos obtenidos en el campo y los datos químicos obtenidos del laboratorio.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2-Confeccionar el mapa de ubicación y el plano geológico del área.

3-Describir y fotografiar las muestras tomadas.

6.3 Geología Local.

Las Salinas de Chilca se encuentran ubicadas en la faja costera a una distancia aproximada de 1 kilómetro de la línea de costa y separada de esta por un afloramiento subvolcánico terciario con remanentes de rocas sedimentarias del cretáceo. (plano #2.6).

El sector de las Salinas es de material cuaternario marino con una cobertura de cuaternario eólico. Más al norte se encuentra rasgos de cuaternario aluvial de la cuenca del Río Chilca.

6.3.1 Pozas de evaporación.

En las salinas la construcción de pozas abarcan un área aproximada de 400m x 500m , lo cual equivale a 20 hectáreas.

En el sector sur se encuentran alrededor de 20 pozas de evaporación con dimensiones que varían entre 2 y 5m de ancho por 10 a 30 metros de largo y con una profundidad promedio de 20 centímetros.(foto # 2.5).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

El proceso de concentración de sales se realiza desde pozas receptoras de las filtraciones de agua de mar hacia las pozas de concentración que se ubican en forma escalonada y que están comunicadas por canales que se abren según el grado de concentración que van alcanzando para lograr la precipitación de las sales en las pozas (foto # 2.6).

6.3.2 Muestreo geoquímico.

El muestreo se realizó luego de efectuar un reconocimiento de toda el área, optandose por tomar las siguientes muestras :

- un compósito del agua de mar y uno de las salinas,
- una de sales cristalizadas y una de salmuera con sales,
- y una de costras de afloramiento natural, totalizando 5 muestras.(fotos # 2.3 y # 2.4).

6.3.3 Análisis Geoquímico.

El análisis químico se realizó en el laboratorio de geoquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), obteniendose los siguientes resultados:

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # : 2.14

RESULTADO DEL MUESTREO REFERENCIAL EN LAS SALINAS DE CHILCA				
#	TIPO DE MUESTRA	DENSIDAD (gr/cm ³)	POTASIO	REFERENCIA
01	agua de mar	1.02	371 mg/L	---
02	salmuera	1.27	399 mg/L	---
03	sales humedas	1.89	0.47 %	foto #7
04	salmuera con sales	1.34	0.63 %	foto #7
05	costras superficiales	1.95	0.01 %	foto #8

La muestra # 01 del agua de mar dio valores normales de densidad y contenido de potasio.

La muestra # 02, solución de salmuera, dio un valor de 1.27 gr/cm³, en el rango de precipitación de la halita, con un contenido de potasio muy bajo, cerca al del contenido del agua de mar.

La muestra # 03 tomada en una poza de evaporación sobre sales ya cristalizadas, dio un valor de 1.89 gr/cm³ de densidad, el cual se encuentra entre la silvita y la carnalita, sin embargo su valor de potasio arroja 0.47%, muy por debajo del contenido de estos minerales.

La muestra # 04, salmuera con sales, dio un valor de densidad de 1.34 gr/cm³ y de contenido de potasio de 0.63%, similar al de las Salmueras de Ramón en Sechura cuyo valor promedio es de 0.41% de K.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Por último la muestra # 05 que se tomó sobre costras salinas superficiales, dio un valor de densidad similar a la halita y un contenido despreciable de potasio.

6.3.4 Descripción litológica.

La descripción de las muestras tomadas es la siguiente :

Cuadro # : 2.15

UBICACION Y DESCRIPCION LITOLOGICA DE LAS MUESTRAS TOMADAS EN LAS SALINAS DE CHILCA			
<i>Muestra Número</i>	<i>Coordenadas UTM (Norte) (Este)</i>		<i>Descripción Litológica</i>
01	8,613,000	311,500	agua de mar, transparente, salada.
02	8,612,880	313,300	salmuera, color rosado, salado- amargo.
03	8,612,750	313,000	sal húmeda, cristalización cúbica, transparente, grano grueso, salado, delicuescente.
04	8,612,880	313,300	aspecto masivo, color rosado, salado-amargo.
05	8,612,300	313,700	costras superficiales, blancas, grano muy fino, salado no delicuescente.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

6.3.5 Índice de Evaporación.

Para determinar el índice de evaporación de la zona se instalaron 3 estaciones, obteniéndose los siguientes resultados:

Cuadro # : 2.16

INDICE DE EVAPORACION EN LAS SALINAS DE CHILCA				
<i>ESTACION Número</i>	<i>LUGAR</i>	<i>TIEMPO DE EVAPORACION(días)</i>	<i>EVAPORACION (mm)</i>	<i>INDICE(1) (mm/día)</i>
1	Puerto Viejo	7	60	8.5
2	Co Honda	7	58	8.3
3	Las Salinas	6.5	54	8.3
PROMEDIO :		----- 6.8	----- 57	----- 8.4

(1) El índice determinado es válido para la temporada de verano (Diciembre-Marzo).
El agua que se utilizó para la evaporación se obtuvo del mar.

6.4 Reservas.

Se encontraron 3 pozas con salmueras en avanzado estado de evaporación, lo cual nos permite estimar un potencial de sales con contenido de potasio equivalente a :

Volumen de 1 poza : $3m \times 10m \times 0.2m = 6m^3$
 Volumen de 3 pozas : $3 \times 6m^3 = 18m^3$
 Tonelaje : $18m^3 \times 1.9(\text{densidad}) = 34 \text{ TM}$
 LEY (estimada) : 3 % de K = 3.6 de K_2O

Reservas: 34 TM con 3% de K = 2 TM con 60% de K_2O

6.5 Interpretación.

Las salinas se encuentran en una pequeña cuenca del tipo "Bull Eye" con ligazón oceánica subsuperficial donde se han diseñado pozas artificiales para ayudar al proceso de cristalización fraccionada de las sales evaporíticas y poder separarlas adecuadamente.

Probablemente en el pleistoceno el Cerro Ya Ya y el Cerro Honda formaban una isla y el mar ocupaba lo que es hoy la faja costera entre el sector norte de Puerto Viejo y Las Salinas, ocupando el corredor entre el Cerro Honda y el Cerro La Bruja. (Plano # 2.6). Posteriormente con el levantamiento de la costa por movimientos orogénicos este sector fue quedando cada vez más alejado de la línea de costa hasta llegar a su posición actual.

El subsuelo del corredor debe estar conformado por arenas limpias cuarcíferas de origen marino de grano bien seleccionado, las cuales permiten el flujo de aguas subterráneas desde el mar hacia la zona del corredor y Las Salinas de Chilca.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Es posible que un pequeño brazo subterráneo del Rio Chilca, el cual trae agua en época de lluvias, contribuya en alguna medida a la carga de agua "dulce" del acuífero de las salinas, debido a que se ha observado el aumento del nivel del agua de las lagunas naturales del corredor en años lluviosos (foto # 2.2). Sin embargo es notorio que la mayor cantidad de agua subterránea proviene del mar.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

CAPITULO III : INDUSTRIALIZACION DE LA POTASA

III.1 Usos.

Alrededor del 95 % de la potasa que se produce en el mundo es utilizada en la **Agricultura** como fertilizante. El 5 % restante se emplea en una variedad de usos industriales.

1.1 Agricultura.

El potasio, fósforo y nitrógeno son los principales nutrientes requeridos para el crecimiento de las plantas.

El 90 % del potasio que se utiliza en la agricultura proviene de la silvita (KCl), a la cual se le conoce comercialmente con el nombre de **muriato** o **cloruro de potasa**. El sulfato de potasio y el sulfato de potasio y magnesio representan menos del 10 %. Otras sustancias como el nitrato de

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

potasio, el metafosfato de potasio y otros son de poca importancia.

La potasa fertilizante se aplica para suministrar el potasio necesario para el crecimiento de las cosechas.

La aplicación de potasa en los campos de cultivos produce un mayor crecimiento de la raíz, mejora la resistencia de la planta a la ruptura y ayuda a retardar las enfermedades en la cosecha, entre otros beneficios.

La potasa en los fertilizantes compuestos aparece en tercer término, así un fertilizante 5-20-25 contiene 5% de nitrógeno (N), 20% de fosfato (P_2O_5) y 25% de potasa (K_2O) por peso.

En la actualidad la agricultura mundial consume más de 32 millones de TM de potasa (K_2O) al año.

1.2 Industria.

El uso de potasa en la industria en términos de volumen alcanza aproximadamente a 1.7 millones de TM al año, equivalente a un 5 % de la producción mundial en el mismo período, siendo la fuente principal el cloruro de potasio (KCl) y en menor proporción el nitrato de potasio (KNO_3).

Los principales usos industriales de la potasa se detallan en el siguiente cuadro :

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # : 3.1

USO INDUSTRIAL DE LA POTASA			
<i>COMPUESTO MINERAL</i>	<i>FORMULA QUIMICA</i>	<i>COMPUESTO FUENTE</i>	<i>USO INDUSTRIAL</i>
Nitrato de potasio	KNO_3	KNO_3 $NaCl$ KCl	Curado de carnes Pólvora Vidrio Cerámicas
Carbonato de potasio	K_2CO_3	KCl	Jabón blando Cristal
Hidróxido de potasio	$K(OH)$	K_2CO_3	Jabones Colorantes Reactivos de laboratorio
Clorato de potasio	$KClO_3$	KCl	Explosivos Detonantes Colorantes Medicamentos

Fuente : Tafur, 1976.

III.2 Posibilidades industriales y económicas de la potasa.

2.1 Métodos de Explotación.

2.1.1 Métodos de Explotación de capas subterráneas.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

a- Convencional.

Se aplica en la explotación de depósitos estratificados subterráneos, utilizando máquinas y procesos convencionales de minería subterránea.

La mayor cantidad de potasa que se emplea en el mundo proviene de los depósitos subterráneos estratificados.

Ejemplos :

-Saskatchewan, Canadá; 900 m. de profundidad promedio.

-New Brunswick, Canadá; 760 m. de profundidad promedio.

-Carlsbad, New México, USA; 400 m. de profundidad promedio.

b- Por disolución.

Este método consiste en inyectar al depósito subterráneo una solución cargada con ciertas sales a través de un pozo para disolver las sales requeridas, retirando la solución cargada de sales de cloruros de potasio y sodio por medio de otro pozo cercano.

Este método se utiliza cuando el depósito es de forma irregular y/o cuando la profundidad es demasiado grande para emplear el método convencional. También es de utilidad cuando los socavones se han inundado. El proceso de recuperación se completa con el método de evaporación.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.1.2 Método de explotación de salinas y/o salmueras.

a- Por evaporación.

Este método consiste en bombear a estanques poco profundos el agua de grandes lagos salados o salmueras subsuperficiales, para precipitar las sales con ayuda de la evaporación solar.

Ejemplos:

- Lago Searles, California, USA.
- Lago Bonneville, Utah, USA.
- Mar Muerto, Jordania e Israel.

2.1.3 Métodos de explotación de costas áridas.

La explotación de un depósito de potasa en costas áridas es simple.

El método consiste en recoger la capa salitrosa superficial entre 5 y 8 cm de profundidad, reuniéndola en pilas para transportarla luego a la planta de beneficio.

2.2 Métodos de tratamiento ó beneficio.

2.2.1 Método de beneficio de capas subterráneas y/o domos salinos.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

La potasa que se extrae de estratos subterráneos, se utiliza en un 25 % directamente como sal cruda para abonar los cultivos sin tratamiento previo. El 75 % restante pasa a las fábricas de refinación que por métodos de disolución y reconcentración similares a los utilizados en salmueras, son tratadas para elevar el contenido de K_2O a 60-62 % para luego ser comercializada.

2.2.2 Método de beneficio de salinas y/o salmueras.

Este método emplea el diferencial de densidades de precipitación que existe entre las sales evaporíticas.

"Luego de extraer la salmuera con una densidad promedio de 1,210 gr/lt. se le somete a evaporación solar para elevar su densidad a 1,300 gr/lt., valor al cual cristaliza la halita (NaCl).

La cristalización de la carnalita ($KCl.MgCl_2.6H_2O$) y de la silvita (KCl) se inicia posteriormente, cuando la salmuera alcanza una densidad de 1,310 gr/lt".(G.Basurto, 1979).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.2.3 Métodos de beneficio de costas áridas.

Los métodos para el proceso de beneficio de la potasa, como nitrato de potasio, que se extrae de capas superficiales salitrosas son los siguientes:

a- Lixiviación en frío.

"Este método consiste en colocar la tierra salitrosa en tinajas con fondo perforado para ser lavada con abundante agua. La solución obtenida se evapora en pailas hasta concentrarla en grado conveniente. Finalmente dejando reposar y enfriar la solución concentrada se obtienen los cristales de nitrato de potasio.

Este método nos proporciona un nitrato con un porcentaje considerable de impurezas." (Rodríguez, 1917).

b- Disolución en caliente .

"El método consiste en colocar la tierra salitrosa en cajas elaboradas con planchas de fierro las cuales son calentadas por circulación de vapor a través de un serpentín.

La solución concentrada se deja enfriar hasta obtener salitre potásico en bruto". (Rodríguez, 1917.)

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Nota:

El nitrato de potasio también se puede obtener químicamente con la aplicación de un disolvente orgánico para acelerar la reacción entre el cloruro de potasio sólido y el ácido nítrico a 60-65 % , sin necesidad de calor.

2.3 Costos de Producción.

Los costos de producción de la potasa dependen directamente del método que se utilice para su explotación y beneficio, así como de la producción total y de la cantidad de reservas existentes.

2.3.1 Costos de producción de capas subterráneas
y/o domos salinos.

Dependen directamente de la profundidad a la que se encuentre la capa de potasa y del volumen de material previo a retirar. La extracción puede variar de \$USA 10 a 50 por TM en promedio, a lo cual habría que agregar el costo de reconcentración aproximado de \$20 por TM .

2.3.2 Costos de producción de salinas y/o
salmueras en superficie.

En base a la actualización de los costos de producción presentados en el "Plan Nacional para el Desarrollo de Fertilizantes" realizado por Minería Perú en el año 1975, podemos estimar lo siguiente :

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # : 3.2

COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCION DE POTASA DE SALMUERAS (en dolares USA)	
<u>Costos Directos de Operación (\$ 1,420,000 /año)</u>	
RUBROS	\$/TM (1)
-Electricidad (kwh)	4.90
-Mano de obra (h/h)	5.50
-Mantenimiento	1.50
-Impuestos y Seguro	1.80
-Otros gastos	3.00
-Transporte Planta-Puerto	2.00
-Almacén y Embarque	4.00
-Depreciación	1.70
-Intereses Bancarios	2.30

Costo total \$/TM :	26.70

Fuente: Minero Perú ,1975.

Nota : (1) precios estimados para 1993.
Los costos están en base a una producción
inicial de 50,000 TM/año.

2.3.3 Costos de producción de costas áridas.

Los costos de producción artesanal de nitrato de potasio en la actualidad pueden estimarse en base al plan elaborado por Rodríguez (1917), de la siguiente manera :

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # : 3.3

COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCION DE POTASA DE COSTAS ARIDAS (en dolares USA)	
<u>Explotación</u>	
5 hombres removiendo tierra	\$ 30
2 peones transportando tierra	12
2 ayudantes de carreteros	10
Sub Total :	52/día
<u>Beneficio</u>	
6 hombres para las tinas	\$ 36
2 operarios para el cocimiento	12
1 hombre para motor y compresora	6
2 operarios para recoger, secar y ensacar	12
1 maestro de cocimiento	10
Electricidad (200Kw)	50
Gasolina (20 gal) + aceite, grasa	34
Sacos (100)	20
1 Administrador	20
Sub-Total :	200/día
<u>Otros</u>	
Depreciación de Maquinaria	50
Imprevistos y reparaciones	40
Flete, pólizas y comisiones	32
Capital amortizable por 8 TM.	40
Sub-Total :	162/día
Total :	414/día
Producción diaria 8 TM.	
Costo por tonelada	$414/8 = \$ 51.75/TM(e)$

(e) - estimado para 1995.

Fuente: Rodríguez, 1917.

III.3 Proyecto con mayor posibilidad en el país.

3.1 Salmueras de Ramón, Sechura.

Sin lugar a dudas las Salmueras de Ramón en el desierto de Sechura es el proyecto de mayor posibilidad actual. Su estratégica ubicación geográfica, en la faja costera cerca al mar, el excelente clima de alta evaporación así como su ubicación geomorfológica, permitirían una explotación a gran escala.

Un estudio de factibilidad elaborado por Minero Perú en 1975, demostró la posibilidad técnica y rentable de este reservorio, calculando su producción anual en 100,000 TM de Cloruro de Potasio, (62% de K_2O), a partir del segundo año de operaciones. Para mayor detalle ver la sección II.5.1.1.

CAPITULO IV: PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE LA POTASA.

IV.1 Producción.

1.1 Producción Nacional.

No se registra producción nacional de potasa como producto mineral, en los últimos 15 años.

Nota:

Basado en el Anuario de la Minería en el Perú.
(1977-1992). Ministerio de Energía y Minas.

1.2 Producción Mundial.

La producción mundial de potasa está limitada a una docena de países, la mitad de los cuales producen en conjunto más del 90% del total mundial, como se resume en el siguiente cuadro :

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # : 4.1

PRODUCCION MUNDIAL DE SALES DE POTASIO (en el periodo 1987 - 1989 y 1995) (en miles T.M. de Potasa equivalente-62%)				
PAIS	1987	1988	1989	1995(e)
1 RUSIA	10,900	11,000	11,000	12,000
2 CANADA	7,670	8,070	8,100	8,500
3 ALEMANIA	5,700	5,800	5,400	5,000
4 U.S.A.	1,260	1,520	1,540	1,550
5 FRANCIA	1,540	1,500	1,500	1,400
6 ISRAEL	1,250	1,240	1,250	2,200
7 JORDANIA	730	800	850	1,800
8 ESPAÑA	740	770	780	800
9 U.K.	430	460	480	600
10 ITALIA	160	160	160	160
11 BRASIL	40	40	40	250
12 CHILE	20	25	30	80
13 CHINA(e)	40	40	40	40
TOTAL :	30,480	31,425	31,170	34,380

Fuente : Mineral Commodity Sumaries 1990.
Mineral Yearbook, 1988. Editado en 1990.
(e) = estimado.

IV.2 Comercialización.

La potasa se comercializa en principio por su contenido equivalente de oxido de potasio (K_2O).

Por ejemplo el cloruro o muriato de potasio (KCl) quimicamente puro contiene 52.4% de K ó 63.2% de K_2O equivalente. El factor de conversión de K a K_2O ó viceversa es:

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

$$K \times 1.2 = K_2O, \text{ y } K_2O \times 0.83 = K.$$

El contenido comercial de K_2O y K en los principales compuestos es:

Cuadro # : 4.2

CONTENIDO DE K_2O Y K EN LOS COMPUESTOS COMERCIALES DE POTASIO		
Compuesto	K_2O (%)	K (%)
Cloruro de potasio	60-62.5	49.8-51.9
Sulfato de potasio	50-52	41.5-43.2
Sulfato de K y magnesio	22	18.3
Nitrato de potasio	44	36.5

Fuente: Potassium for Agriculture International, 1988.

2.1 Precios.

El promedio anual de precios FOB mina, de las sales de potasio, fue el siguiente :

Cuadro # : 4.3

PRECIOS PROMEDIO FOB MINA DE LAS SALES DE POTASIO (60% de K_2O) (en dolares USA)					
<i>Producto</i>	<i>1990</i>	<i>1991</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>
	<i>\$/TM</i>	<i>\$/TM</i>	<i>\$/TM</i>	<i>\$/TM</i>	<i>\$/TM</i>
KCl, standard	92.0	92.0	87.0	85.0	98.0
KCl, coarse	95.0	95.0	92.0	90.0	95.0
KCl, granular	95.0	95.0	95.0	95.0	88.0
KNO_3	456.0	----	----	----	----

Fuente : Industrials Minerals, OCT 1993 y DIC 1994.

(----) No disponible.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Así mismo los Precios CIF CALLAO de las sales de potasio fueron los siguientes :

Cuadro # : 4.4

PRECIOS CIF CALLAO DE LAS SALES DE POTASIO (60% de K ₂ O) (en dolares USA)				
<i>Producto</i>	<i>1987</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>	<i>1990</i>
	<i>\$/TM</i>	<i>\$/TM</i>	<i>\$/TM</i>	<i>\$/TM</i>
Cloruro de potasio	84	93	--	--
Nitrato de potasio	502	550	497	611
Sulfato de potasio	171	186	--	--
Sulfato de K. y magnesio	105	88	--	--

Fuente : ICE, 1991.

Por otro lado los precios promedios a los que se compro potasa en el Perú, fueron los siguientes:

Cuadro # : 4.5

PRECIOS PROMEDIO DE LA POTASA EN EL MERCADO NACIONAL (en dolares USA)			
<i>Sustancia</i>	Precio promedio en \$/TM (1)		
	Jul 93	Set 93	Feb 95
<i>Cloruro de Potasio</i>	265	282	284
<i>Sulfato de Potasio</i>	403	428	471
<i>Sulfato de Mg y K.</i>	272	300	291

Fuente : ENCI, 1992-95.

(1)Incluido IGV.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.2 Importaciones.

2.2.1 Cloruro de potasio.

La importación de cloruro de potasio se realiza principalmente de Estados Unidos, Rusia y Canadá, con un promedio anual de 27,500 TM., como se observa en el siguiente cuadro :

Cuadro # : 4.6

IMPORTACIONES DE CLORURO DE POTASIO (KCl). (en TM. de K ₂ O eq.)					
<i>AÑOS</i>	<i>USA</i>	<i>P A I S E S</i> <i>Rusia</i>	<i>Canadá</i>	<i>Otros</i>	<i>Total</i>
1984	18,985	---	---	---	18,985
1985	14,400	---	---	---	14,400
1986	8,383	8,400	7,681	15	24,479
1987	28,777	16,783	---	---	45,560
1988	17,100	15,750	7,350	---	40,200
1989	19,010	---	---	2,291	21,301
1990	-----	<i>N O</i>	<i>R E P O R T A</i>	-----	-----

Fuente: Instituto de Comercio Exterior (ICE, 1991).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Los fletes y seguros pagados para importar el cloruro de potasio fueron los siguientes :

Cuadro # : 4.7

FLETES Y SEGUROS PAGADOS PARA IMPORTAR CLORURO DE POTASIO (KCl). (en dolares USA por TM.)			
<i>AÑOS</i>	<i>P A I S E S</i> <i>USA</i>	<i>Rusia</i>	<i>Canadá</i>
1986	15	20	---
1987	20	23	---
1988	29	33	29

Fuente: Instituto de Comercio Exterior (ICE, 1991).

2.2.2 Nitrato de potasio.

La importación de nitrato de potasio, se realiza principalmente de Alemania, Israel y Estados Unidos, como podemos observar en el siguiente cuadro :

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # · 4.8

IMPORTACIONES DE NITRATO DE POTASIO (KNO ₃). (en TM de K ₂ O eq.)					
<i>AÑOS</i>	<i>Alemania</i>	<i>P A I S E S</i> <i>Israel</i>	<i>USA</i>	<i>Otros</i>	<i>Total</i>
1984	396.8	---	24.7	23.0	444.5
1985	233.5	9.7	17.9	40.0	301.1
1986	641.7	121.7	54.5	36.1	854.0
1987	258.5	491.1	47.9	15.0	812.5
1988	502.9	182.5	---	20.0	705.4
1989	138.9	350.4	---	---	489.3
1990	4.0	128.7	2.2	140.1	275.0

Fuente: Instituto de Comercio Exterior (ICE, 1991).

Los fletes pagados para importar el nitrato de potasio fueron los siguientes :

Cuadro # : 4.9

FLETES Y SEGUROS PAGADOS PARA IMPORTAR NITRATO DE POTASIO (KNO ₃). (en dolares USA por TM)			
<i>AÑOS</i>	<i>P A I S E S</i> <i>Alemania</i>	<i>Israel</i>	<i>USA</i>
1987	134	135	126
1988	155	179	---
1989	169	156	---
1990	182	167	---

Fuente: Instituto de Comercio Exterior (ICE, 1991).

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

2.3 Exportaciones.

No se registra exportaciones de esta sustancia.

2.4 Consumo y Demanda.

2.4.1 Consumo y demanda Nacional.

La venta nacional de fertilizantes con contenido de potasio para uso agrícola según la "Empresa Nacional de Comercialización de Insumos" (ENCI) fue la siguiente :

Cuadro # : 4.10

CONSUMO NACIONAL DE POTASA EN LA AGRICULTURA
(de 1974 a 1993)

<i>AÑOS</i>	<i>F E R T I L I Z A N T E S (en T.M.)</i>			<i>TOTAL</i>
	<i>KCl</i>	<i>KSO₄</i>	<i>KSO₄-MgSO₄</i>	
1974	3,572	2,691	643	6,906
1975	4,786	3,947	643	9,376
1976	8,806	8,849	1,040	18,645
1977	9,750	6,357	814	16,921
1978	12,252	4,710	2,079	19,041
1979	11,104	4,538	2,159	17,801
1980	13,426	5,224	1,795	20,445
1981	12,728	5,239	1,439	19,406
1982	9,129	3,586	1,369	14,084
1983	10,206	3,973	1,206	15,385
1984	10,758	3,641	1,332	15,731
1985	12,053	2,626	1,591	16,270
1986	21,874	6,218	2,407	30,499
1987	30,084	7,056	2,855	39,995
1988	22,358	8,357	4,073	34,688
1989	24,884	6,726	2,962	34,572
1990	9,023	4,699	1,191	14,913
1991	6,500	2,391	1,112	10,003
1992	4,779	2,241	1,162	8,182
1993	7,712	2,265	640	10,617

Fuente : ENCI, 1993.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

La venta de los últimos siete años (1987-1993) promedia 21,853 TM/año. Sin embargo la necesidad agrícola nacional de fertilizante potásico bordea las 200,000 de TM al año, como se deduce del siguiente cuadro:

Cuadro # : 4.11

**RESUMEN DE SIEMBRAS DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS DE
PROGRAMACION NACIONAL Y SU REQUERIMIENTO
DE POTASA**
(realizado en la campaña agrícola 1992-1993)

Cultivo	Hectáreas (en miles) (1)	Requerimiento de POTASA en TM. (por Has.)(2)	TOTAL (en miles de TM).
CONSUMO HUMANO			
Arroz cascara	180.9	0.16	28.9
Maíz Amiláceo	176.5	0.12	21.2
Frijol Grano Seco	56.0	0.10	5.6
Papa	182.6	0.31	56.6
Trigo	91.9	0.175	16.1
CONSUMO INDUSTRIAL			
Algodón rama	66.5	0.09	6.0
Maíz Amarillo, duro	197.3	0.12	23.7
Soya	0.7	0.12	0.1
Sorgo, grano	3.0	0.10	0.3
CULTIVOS ANDINOS			
Cebada, grano	109.9	0.13	14.3
Quinoa	19.6	0.12	2.4
Canihua	5.0	0.12	0.6
Kiwicha	0.5	0.12	0.1
Haba, grano	27.8	0.16	4.5
Arveja, grano	31.4	0.14	4.4
Choclo	4.1	0.12	0.5

(continúa)

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

(viene de la página anterior)

Olluco	15.0	0.10	1.5
Oca	12.3	0.10	1.2
Mashua	3.8	0.10	0.4
OTROS			
Camote	11.9	0.14	1.7
Yuca	51.9	0.14	7.3
Cebolla	5.4	0.16	0.9
TOTAL:	1,508.1		198.3

Fuentes : (1) Boletín Estadístico Mensual del Sector Agrario. Julio 1993.
Oficina de información agraria.
(2) Potassium for Agriculture, 1988.

2.4.2 Consumo y demanda Mundial.

El consumo mundial de potasa ascendió a 28,5 millones de TM en 1985, y en la actualidad supera los 31 millones de TM.

El consumo por regiones geográficas se muestra en el siguiente cuadro:

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Cuadro # :4.12

CONSUMO MUNDIAL DE POTASA POR REGIONES GEOGRAFICAS
(en millones de TM)

AREA	1985(e)	1993(e)
USA	5.9	6.3
Canadá	0.2	0.2
Rusia	5.6	6.1
Europa Este	4.4	4.7
Europa Oeste	5.7	6.3
América Latina	2.3	2.5
Africa	0.6	0.7
China	0.8	0.9
Japón	0.9	1.0
Resto Asia	1.6	1.8
India	0.3	0.4
Oceanía	0.2	0.3
<i>TOTALES :</i>	<i>28.5</i>	<i>31.2</i>

Fuente : Dunlap, 1979.

(e)= estimado.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Capítulo V : RESULTADOS

V.1 Conclusiones.

-Como control estratigráfico en la ocurrencia de depósitos evaporíticos tenemos, por lo general, un estrato de lutitas bituminosas y/o calizas en la base, y un estrato de "capas rojas", en el tope.

-Como control geomorfológico actual en el Perú asociado a las ocurrencias de evaporitas tenemos a la llanura costera y a la faja subandina principalmente.

-En el Perú también se pueden encontrar evidencias de los eventos evaporíticos mundiales asociados a la ocurrencia de niveles de potasa.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

- El yacimiento de las Salmueras de Ramón, Sechura, se constituye en el principal yacimiento de potasa en el Perú. La explotación inmediata beneficiaría a la producción agrícola y representaría un gran ahorro de divisas para el país.

-El estuario de Virrila y la depresión de Salina Grande pueden convertirse en potenciales depósitos de potasa.

- Los yacimientos de potasa en costas áridas (nitrato de potasio), podrían ser trabajados artesanalmente, con una pequeña inversión, y cubrir la demanda nacional de este producto.

-Las ocurrencias de evaporitas en los salares de la llanura costera pueden convertirse en una fuente local de potasa, previo beneficio en pozas artificiales.

-No se puede asegurar la existencia de otros depósitos importantes de "potasa" en el Perú, además de los ya señalados.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

-En Las Salinas de Chilca el contenido de potasio en algunas pozas es de 0.63 % de K con una densidad de 1.34 gr/cm³ lo cual es comparable a la encontrada en el Mar Muerto (Israel-Jordania) y en las Salmueras de Ramón.

El volumen de sales con contenido comercial de potasio es despreciable.

-Las Salinas de Chilca han servido como modelo de un yacimiento evaporítico para ilustrar la presente tesis.

-El precio de compra en el mercado nacional del cloruro de potasio para uso agrícola es 10 veces mayor al que costaría extraerlo y tratarlo de las salmueras de Ramón.

-El consumo nacional de "potasa" alcanza solo el 11 % de la necesidad real de este producto.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

V.2 Recomendaciones.

- Realizar estudios de mayor detalle de los depósitos evaporíticos de bajo grado existentes en el país, siguiendo las pautas del presente trabajo, en la búsqueda de depósitos de potasa en nuestro territorio.

- Iniciar la explotación de las salmueras de Ramón en el desierto de Sechura.

- Verificar la ocurrencia actual de los depósitos de nitrato de potasio, entre Trujillo y Cañete, mencionados por G. Rodríguez en 1917.

- Realizar estudios similares en campos profesionales afines tales como minería y química.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

Referencias Bibliográficas.

- Aldana Alvarez , Manuel (1981) ; Geología del Reservorio de Salmueras de Ramón en el desierto de Sechura , Tesis UNMSM, 60 p.
- Anderle. J., Crosby K. & Waugh D. (1979) ; " Potash at Salt Spring, New Brunswick". Economic Geology. Vol. 74, pp. 389-396.
- Anderson, Sidney and Swinehart, Robert (1979) ; " Potash Salts in the Williston Basin, U.S.A." , Economic Geology Vol. 74 . 18 pp.
- Basurto L., Grimaldo (1979) ; "Programacion del Proyecto de Salmueras de Ramon "; Tesis UNI, escuela de Minas.
- Bateman, A. (1957) ; Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico (L) , 975 p.
- Benavides, Victor (1968), "Saline Deposits of South America". The Geological Society of America. Inc. Special paper 88, pp 250-290.
- British Sulphur Corporation Limited (1976) ; World Fertilizer Atlas, fifth Edition.
- Dunlap , J. & Hite, R. (1979) ; " Potash" , Economic Geology Vol. 74, pp. 351-352.
- Engineering and Mining Journal (1995) JANUARY, pp.19-22.
- Hite R. & Japakasett (1979) ; " Potash Deposits of the Khorat Plateau, Thailand and Laos." ; Economic Geology, Vol. 74 pp.10.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

- Industrials Minerals (1994); (R), December 94, pp-62.
- INGEMMET (1980) ; Boletín # 32 ,Serie A de la Carta Geológica Nacional , pp. 70-71.
- Mason, Brain. (1952) ;" Principios de Geoquímica". 320 p.
- Ministerio de Agricultura (1992) ; Boletín Estadístico del Sector Agrario # 12-91 y # 12-94.
- Misión Española de Cooperación Técnica Geológico Minera (1979) ; Asistencia Técnica en Minerales No-metalicos, Tomo 16.
- Morris, R. & Dickey, P (1957); "Modern Evaporite deposition in Perú", Bulletin of the AAPG, Vol.41, # 11.
- Ojeda y Ojeda, Hildeberto (1988) ; "Curso de Sismoestratigrafía", Sistema Evaporítico, Petrobras, pp. 234-249.
- ONERN (1987) ; Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales del Complejo de Bayovar , pp. 92-93.
- ORSTOM (1980); B Dalmarac, G Laubacher, R Marocco, "Geologie des Andes Peruviennes", p. 499.
- P.A.C. de Ruiter (1979) ; " The Gabon and Congo Basins Salt Deposits ", Economic Geology Vol. 74, 12 pp.
- Potash & Phosphate Institute (1988) ; "Potassium for agriculture", 40 pp.
- Ramirez Ortega, A. (1986) ; The Catalan Potash field, en Industrial Minerals (Nov. 86) , pp. 55-59.

*Estudio Geológico Evaluativo de la Potasa
en el Perú.*

- Rankama, Kalervo (1954); "Geochemistry". (L) p.860.

- Rittenhouse, Paul A. (1979) ; " Potash and Politics" ,
Economic Geology Vol. 74 , pp. 353-357.

- Rodriguez Mariategui, G. (1917). "La industrialización
del Nitrato de Potasio en el Peru". ACOMIN, Tomo V. pp.
157-206.

- Samame Boggio, Mario (1981) ; El Perú Minero Tomo IV,
tercer Vol. (L), 970 p.

- Smith D & Crosby A. (1979) ; " The Regional and
Stratigraphical Context of Zechstein 3 and 4 Potash Deposits in
the British Sector of the Southern North Sea and Adjoining Land
Areas " ; Economic Geology Vol. 74, pp. 397-408.

- Szatmari P., Carvalho R. & Simoes I. (1979) ; " A
Comparison of Evaporites Facies in the Late Paleozoic Amazon
and the Middle Cretaceous South Atlantic Salt Basins". Economic
Geology . Vol. 74, pp. 437-447.

- Tafur, Isaac (1976) ; Geología Económica General de
Yacimientos Minerales No-metalicos , (L) 196 p.

- U.S. Bureau of Mines (1990) ; Mineral Commodity Sumaries.

- U.S. Bureau of Mines (1989) ; Mineral Yearbook, volumen
I, Metals and Minerals.

- Woods, P.J.E. (1979) ; " The Geology of Boulby Mine",
Economic Geology Vol 74, pp. 409-418.

- Worsley, Neil and Fuzesy, Anne (1979) ; "The Potash-
bearing Members of the Devonian Prairie Evaporite of
Southeastern Saskatchewan South of the Mining Area ", Economic
Geology, Vol. 74, 11 pp.