DISTRIBUCION GEOQUIMICA DEL POTASIO
DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU APROVECHAMIENTO
INDUSTRIAL*

HERMIÓN LARIOS, M.S.G.M.**

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	65
Aplicaciones industriales del potasio	66
El potasio en la hidrósfera	75
El potasio en la biósfera	84
Bibliografía	85

INTRODUCCION

El potasio es uno de los ocho elementos que se encuentran en proporción mayor de 1% en la corteza terrestre. Es uno de los metales alcalinos y ocupa el séptimo u octavo lugar en el orden de abundancia en la Tierra. Decimos que el séptimo u octavo porque el sodio se encuentra en la misma proporción y la diferencia en cantidad entre ambos es tan pequeña, que no se puede decir con seguridad cual es el más abundante en peso, pero en proporciones atómicas desde luego ocupa el octavo lugar.

* Conferencia sustentada en la Sociedad Geológica Mexicana el 10 de febrero de 1950. Trabajo que presentó la Comisión de Geoquímica de la Sociedad Geológica Mexicana.

** Petrógrafo de la Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos.

APLICACIONES INDUSTRIALES DEL POTASIO

La principal aplicación del potasio en la industria es como vehículo de los radicales ácidos en forma de sales. Para este objeto generalmente se emplea el sodio que tiene un valor de reacción mayor y por lo tanto, en el mismo peso de sal la cantidad de anión activo es mayor, lo cual es una ventaja. Por otra parte, el precio del sodio es menor que el del potasio, por lo que en la industria es más costeable; pero hay casos en que las propiedades físicas de las sales de potasio, ofrecen más ventajas sobre las del sodio, por lo que tienen preferencia a pesar de su menor eficacia y mayor precio.

Por lo anterior se ve que el potasio industrialmente ocupa un lugar subordinado al sodio. Hay una industria en la cual este elemento no puede ser substituído por el sodio y es la agricultura. En vista de esta necesidad, las sales de potasio son indispensables, de aquí que se busquen con tanto ahinco. En la primera guerra mundial, la potasa faltó en América, ya que la empleada era importada de Europa; como consecuencia, América se vió obligada a estudiar sus recursos naturales, descubriéndose depósitos expotables tanto en los Estados Unidos como en México.

El sodio y el potasio son muy semejantes desde el punto de vista de sus soluciones iónicas, pero físicamente tienen algunas diferencias bastante apreciables. Desde luego su peso atómico es de 23 para el sodio y de 39.1 para el potasio; sus radios iónicos son de 0.95 y 1.33 Å, respectivamente, por lo cual no hay que esperar mucho isomorfismo entre los compuestos de ambas sales. En efecto, hay muy pocas sales dobles; los cloruros de sodio y potasio no forman sales dobles ni soluciones sólidas; y en soluciones que contengan ambas sales, siempre cristalizarán separadas. A temperaturas elevadas hay tendencia a formar soluciones sólidas, como lo demuestra el mineral sanidino, que con frecuencia contiene cantidades altas de sodio y que siendo del grupo de la ortoclasa, debería ser un mineral de potasio.

Con frecuencia vemos que el potasio está reemplazado isomórficamente por el bario, lo que se explica porque este elemento tiene un radio iónico de 1.33 Å, que es muy semejante al del potasio. El sodio también es reemplazado por el calcio, cuyo radio iónico es de 0.99, semejante al del sodio. Por supuesto que en estos reemplazamientos un

bario o un calcio, son substituídos por dos potasios o dos sodios, respectivamente.

El potasio es reemplazado por los metales alcalinos rubidio y cesio, pero estos elementos se encuentran en pequeñas cantidades en la Naturaleza y por lo tanto no los tomaremos en consideración en este trabajo. También puede ser reemplazado isomórficamente por el radical amonio, pero este compuesto se encuentra únicamente en algunos minerales formados a bajas temperaturas, por lo que también son raros y tampoco los consideraremos. Los radios atómicos de estos radicales son NH_4 1.42, Rb 1.49, Cs 1.65. Como se ve son más parecidos al del potasio, que el de éste al del sodio.

Según la estimación de Clarke, la cantidad de potasio y sodio contenido en las rocas ígneas, es como sigue:

TABLA 12.—CONTENIDO DE POTASIO Y SODIO EN ROCAS

	Na	K
Número de rocas analizadas	1632	1624
Cantidad como óxidos en por ciento	3.44	3.05
Cantidad como metal en por ciento	2.55	2.53
Proporción atómica	0.0555	0.0324
<i>Relación de Potasio a Sodio</i>		
Relación ponderal	0.992	
Relación atómica	0.584	

Para extraer la pótsa de las rocas, debemos buscar que éstas contengan la mayor cantidad de potasio posible, pero como podemos ver en todos los datos relativos a las perpotásicas, éstas son relativamente raras. En la obra de Iddings encontramos algunos análisis de rocas de los cuales extractamos los siguientes datos:

TABLA 13.—ROCAS PERPOTÁSICAS

Roca	K ₂ O %
Aplita de Wormketal, Brocken, Alemania	5.89
Pórfido de Suppatsch, Jukkasjärvi, Suecia	9.10
Riolita potásica de Manzoyama, Japón	11.51
Granito de Chywoon Morvah, Cornwall, Inglaterra	8.66
Pórfido granítico de Himmelberg, Blatt Lebach, Prusia...	10.24
Ortoclasita de Mutterbach, Masserthal, Thüringerwald...	12.33
Traquita de leucita de San Rocco, Viterbo, Italia	9.58
Basalto de leucita de Gaussbérq, Antártica	9.50
Tinguaita de leucita de Picota, Sierra de Mochique, Portugal	11.00
Fonolita de leucita del Lago Bracciano, Italia	10.49
Tefrita de leucita de Osteria di Favolato, Italia	11.32

Como se ve por la tabla anterior, las rocas con más de 10% de potasa son muy raras.

Los ejemplos de rocas mexicanas que se encuentran en dicho libro, son:

Obsidiana del Cerro de las Navajas de Tulancingo, Hgo...	4.62
Granodiorita de Concepción del Oro, Zac.	3.78
Tinguaita de San José de las Rusias, Tamps.	4.87
Sienita de nefelita, San José de las Rusias, Tams.....	5.39

Hay muchos análisis más de rocas mexicanas, pero su contenido en potasa es relativamente bajo. San José de las Rusias es la única localidad en donde se conocen rocas alcalinas, las que tienen un contenido de potasio relativamente alto.

Por lo anterior, llegamos a la conclusión de que México poco puede esperar de las rocas como productoras de potasio.

Los minerales primarios de potasio son relativamente pocos, entre éstos podemos anotar los siguientes, que se dan con su fórmula ideal y su contenido en potasio, de acuerdo con la fórmula asignada:

TABLA 14.—MINERALES PRIMARIOS DE POTASIO

Mineral	Fórmula	K %
Ortoclasa	$\text{KAl Si}_3\text{O}_8$	13.94
Leucita	$\text{KAl Si}_2\text{O}_6$	17.92
Kaliofilita	KAl SiO_4	24.72
Muscovita	$(\text{OH})_2\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$	9.82
Flogopita	$(\text{OH})_2\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$	9.37

De estos minerales el más abundante es la ortoclasa que está muy esparcida en las rocas graníticas, pero en ellas generalmente se encuentra entre los últimos elementos en cristalizar formando el relleno o mortero que cementa junto con el cuarzo a todos los otros minerales. En los granitos más ricos en potasa se encuentra en grandes cristales, los que dan a la roca un aspecto porfiroide. Los cristales grandes de ortoclasa sólo se encuentran en las pegmatitas, en donde se extrae el feldespato ortoclasa, que tiene aplicación en cerámica y en la industria de los esmaltes.

En México se han explotado en pequeña escala las pegmatitas de la Hacienda de Harperos, cerca de Silao, Gto.

El mineral natural no es puro, sino que siempre tiene cantidades más o menos grandes de sodio, de manera que es muy difícil encontrar un material que contenga más del 10% de potasio. Su densidad es baja, de 2.58, por lo que en concentración por gravedad, es un producto que se obtiene en las colas.

En nuestros ríos localizados en las zonas riolíticas se encuentra gran cantidad de arenas de riolita, en las que el feldespato sanidino, variedad de la ortoclasa, es muy abundante y se podría concentrar este mineral; pero el sanidino es la variedad de la ortoclasa de alta temperatura, que como ya se ha dicho, a alta temperatura el sodio y el potasio son isomorfos. Generalmente, el mineral contiene mucho sodio, aunque siempre predomina la potasa.

Entre los otros minerales, tenemos la leucita, mineral que es poco común y que aun no se ha encontrado en México, aunque es muy posible que se encuentre en la región de San José de las Ruelas. Este mineral es bastante rico en potasio y según tenemos noticias, fué el primero de donde se trató de recuperar la potasa. En los Estados Unidos existe un cerro pequeño formado por una roca llamada missourita, según los análisis

secundarias y de aquí que en las lutitas la cantidad de potasio sea mayor que la del sodio, generalmente.

En Clarke encontramos los datos siguientes: las lutitas y pizarras contienen en promedio 2.69 de potasio en contra de 0.96 de sodio, lo que da una relación de 2.80; en las rocas ígneas ésta relación es casi de 1.00, lo que quiere decir que la potasa es poco menos de 3 veces más abundante en las lutitas que en las rocas ígneas.

Ahora vamos a considerar cómo se forman los minerales primarios de potasa. Indudablemente que el mineral de potasio más abundante en la Naturaleza es la ortoclasa, que se presenta en varias formas; una es la fase de alta temperatura que se forma en las rocas que contienen mucha potasa y que han perdido gran parte de sus elementos volátiles; esta fase es característica de las rocas riolíticas. A esta variedad de ortoclasa se le llama sanidino y se presenta en fenocristales de aspecto vítreo y de lustre nacarado, algunas veces con tonos azulados que son muy hermosos. Casi siempre tiene formas idiomórficas, corroídas algunas veces y generalmente sin inclusiones. No es muy alterable y se encuentra con frecuencia en las arenas de los ríos de la región riolítica.

A altas temperaturas el potasio y el sodio tienden a reemplazarse idiomórficamente y entonces los minerales no son tan ricos en potasio, como lo indica su fórmula teórica. En efecto, tomando los datos del System of Mineralogy vemos que en todos los minerales clasificados como sanidino, al hacer el estudio de sus análisis, hay una variación en el contenido de potasa (K_2O) entre 7.9 y 6.84; en tanto que el sodio (Na_2O) lo hace de 2.49 a 6.94.

Cuando las rocas tienen oportunidad de conservar sus hiperfútiles, la ortoclasa y el cuarzo son los últimos elementos en cristalizar, siendo de éstos dos, la ortoclasa el primero en hacerlo. En estas condiciones, aparece en las rocas sieníticas rodeando como una aureola a los cristales de plagioclasa y con frecuencia se ve la ortoclasa en formas de perlitas dentro de la albita o bien formando ella el patrón y la albita como huésped. En los granitos a veces es porfiroide y forma grandes cristales íntimamente unidos al resto de la roca, siendo muy difícil su separación para ser concentrados. Con el cuarzo, la ortoclasa forma un cemento que sirve para unir a todos los otros granos de roca.

En las rocas pegmatíticas, en donde los minerales han tenido oportunidad de separarse lentamente y en medios poco viscosos, se encuentran grandes cristales de ortoclasa, por lo tanto, estas rocas son las que se aprovechan en la industria para la obtención del mineral.

de Rosenbusch, se compone de 50% de una augita de color verde claro, 15% de olivino, 6% de biotita, 5% de óxidos de fierro y apatita, 16% de una leucita de color blanco verdoso y 8% de zeolitas, de las cuales menos de la mitad es analcita. Esta es una de las rocas que contienen más leucita. La roca contiene 5.14% de K_2O y su leucita 18.86%, que corresponde a 15.65% de potasio. En el System of Mineralogy de Dana, el análisis de leucita más alto en potasio corresponde a un ejemplar de Monte Albany, con un ensaye de 17.82%, que es casi lo que corresponde a la fórmula aceptada.

La leucita es uno de los minerales más ligeros, su densidad es de 2.476 y por lo tanto, se puede concentrar por gravedad.

Otro mineral de potasio es la kaliofilita, correspondiente a la nefelita en las sales de sodio, pero como el sodio y el potasio no son isomorfos, en la kaliofilita predomina el potasio y en la nefelita el sodio, sin que haya miembros intermedios. La kaliofilita es un mineral muy raro, sólo se encuentra en algunas de las rocas italianas. Por los análisis publicados, se ve que su contenido en sodio es muy pequeño, siendo un mineral bastante raro. No tiene importancia industrial, pero de encontrarse en cantidad sería una buena fuente de potasio.

Los otros minerales en que parece que el potasio forma parte esencial, están constituidos por el grupo de las micas, que como sabemos, son tanto minerales primarios como secundarios y metamórficos. A este grupo pertenece un gran número de minerales cuya composición no es muy constante, parece ser que la presencia de la potasa, de radicales hidroxilos y de un núcleo de silicoaluminato son indispensables, como ejemplo he puesto solamente dos de sus representantes más típicos, pudiendo substituirse el aluminio que está fuera del paréntesis en la fórmula por el hierro férrico, el cromo y aun por grupos trivalentes, formados por dos elementos, como el grupo $LiMg$ y el Mg por el fierro férrico. En algunos minerales de este grupo se encuentra también calcio, pero ya sus propiedades no corresponden estrictamente a las micas, lo mismo sucede con la paragonita llamada mica de sodio, que estrictamente no es del mismo grupo, sino más bien de un grupo cereano. El OH puede ser substituído por el fluor, cosa frecuente en las micas primarias; últimamente en Alemania, la mica se hizo sintética por la escasez que había, partiendo de sus elementos, pero como el OH sólo se puede conservar a presión en una masa fundida, se substituyó por el fluor con resultados satisfactorios.

Las micas no contienen una cantidad muy grande de potasio, como para que convenga concentrarlas, pero éstas se acumulan en las rocas,

En términos generales, me parece que no vale la pena hacer concentraciones de los minerales de potasio para extraer este elemento, sino que lo más práctico es tomar las rocas tal y como son, procurando que el contenido de potasio sea el más alto posible.

Con respecto a la leucita, podemos decir que es un elemento más raro que la ortoclasa. Su relación con esta última parece que proviene de los hechos siguientes: la ortoclasa funde incongruentemente a una temperatura superior a los 1,200°C, dando cristales de leucita y un líquido que tiene la composición del eutéctico del cuarzo y ortoclasa en ausencia de hiperfusibles; si además hay magnesia presente se forma olivino. De esta manera se obtienen cristales de leucita de baja densidad y de forstierita de alta densidad, los que se separan por densidad. Las relaciones estequiométricas pueden representarse:

Para que estas condiciones se obtengan, se requieren condiciones muy especiales, por lo que este modo de explicar la formación de la leucita es poco satisfactorio. Probablemente es mejor pensar que la leucita, debido a su baja densidad flota sobre el magma fundido, pero de cualquier manera se necesita una sustancia básica para que se combine con la sílice.

Para la formación de la kaliofilita, las condiciones son aun más drásticas, siendo por lo tanto un mineral que debe considerarse mucho más raro y no constituye una buena fuente para la obtención del potasio.

En las micas, el contenido de potasio cuando el mineral es puro, es del mismo orden que el de las rocas ricas en potasio, por lo cual se pueden considerar como buenas fuentes de abastecimiento de potasio y se debe procurar su concentración.

En vista de lo anterior, parece que las rocas aprovechables para la concentración son las más ricas en potasio y en ellas se puede intentar la concentración de la ortoclasa o la leucita.

Los procedimientos que se han seguido para la extracción de los álcalis son dos que prometen buenos resultados, pero en condiciones normales no pueden competir con los que se emplean en la extracción de la potasa de los minerales solubles. Uno de los métodos es muy semejante al que se emplea en los laboratorios para la determinación de los álcalis y se conoce con el nombre de método de Lawrence-Smith. El método in-

dustrial consiste en mezclar la roca o el mineral finamente pulverizado con una cantidad tal de caliza, que toda la sílice sea transformada en Ca_2SiO_4 y CaAl_2O_4 y añadiendo además una cantidad de CaCl suficiente para transformar en cloruros a la totalidad de los álcalis contenidos en el material. Este polvo se calcina en la misma forma que se hace en la fabricación del cemento y se obtiene una masa aglutinada; no es necesario ni conveniente que el material funda, lo que a veces es perjudicial. El material así obtenido se muele y se trata con agua, obteniéndose álcalis en forma de cloruros que se separan por cristalización fraccionada, basándose en que en caliente, la solubilidad del cloruro de sodio es casi la misma que a temperatura ordinaria, en tanto que el cloruro de potasio es notablemente más soluble en caliente que en frío. La solución obtenida se puede concentrar por ebullición hasta el punto en que el cloruro de potasio empieza a cristalizar e inmediatamente se enfría la solución para obtener la cristalización completa. El cloruro de potasio que no cristaliza, queda en un agua madre que sirve para disolver más cantidad de material y luego la solución se concentra por ebullición, lo que se puede hacer en evaporadores múltiples, trabajando en contra corriente por medio de bombas. El cloruro de sodio precipita en los evaporadores de donde se separa por medio de los filtros de sal.

De esta manera se separa el cloruro de potasio del de sodio, pero las aguas madres se van enriqueciendo continuamente de las otras sustancias, llegando un momento en que su concentración es tan grande que precipitan. Para evitar que esto suceda, en vez de volver toda el agua madre al tratamiento del material fresco, se toma una parte, más o menos grande, según la composición del líquido y ésta se reemplaza por agua pura. La parte que se quita contiene las sustancias en menor cantidad y que son los álcalis más raros, cuyos cloruros son muy solubles; esta solución se puede concentrar mucho separándose cloruros de sodio y de potasio mezclados, los que vuelven a separarse quedando un líquido muy rico en álcalis raros. Estos se pueden separar por cristalización fraccionada, de sus carbonatos el litio, de sus alumbres el rubidio y el cesio.

Este método se aplicó con relativo éxito durante la guerra de 1914-1918, usando como materia prima la mirsaurita, pero después este método no pudo competir con el de la extracción de la potasa de los depósitos de sales de potasio.

En los últimos años (1947), apareció en la *Industrial and Engineer-*

ing Chemistry, publicación de la American Chemical Society un artículo en que se describen los experimentos llevados a cabo con la missourita, por un procedimiento completamente diferente al anterior. El método se basa en que la analcita es muy parecida a la leucita. La primera es de sodio y la segunda de potasio. Sus fórmulas empíricas son KAlSi_2O_6 y $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$; por lo que se ve son muy semejantes, sólo que la analcita tiene agua que es necesaria para la estabilidad del mineral.

Un mineral anhidro de la composición de la leucita, pero de sodio es una piroxena y no un feldespatoide; a alta temperatura probablemente se forma la leucita de sodio, razón por la que en algunas lavas se encuentra un mineral con la apariencia externa de la leucita, que tiene una composición análoga y que es de sodio. Estudiado al microscopio se ve que está formado por una mezcla íntima de cristales de albita y nefelita, llamándosele al mineral pseudoleucita.

Para que el mineral análogo a la leucita sea estable, se necesita que el ion K sea reemplazado por el ion NaH_2O , que probablemente tiene un radio iónico muy semejante al del potasio y un peso normal de 41, bastante cercano al del potasio que es de 39.

La leucita se transforma fácilmente en analcita, si ésta es tratada por una solución de carbonato de sodio. Se produce la reacción:

que es reversible, pero si la cantidad de carbonato de sodio es grande el equilibrio pasa a la derecha y se obtiene una solución de carbonato de potasio y sodio.

Otro artículo de la publicación mencionada arriba trata sobre el sistema $\text{K}_2\text{CO}_3\text{—Na}_2\text{CO}_3\text{—H}_2\text{O}$ en el que se demuestra que se pueden separar estos elementos por cristalización fraccionada en la forma de carbonatos.

El método consiste esencialmente en tratar la missourita pulverizada por una solución caliente y a presión en autoclave de carbonato de sodio, obteniéndose la solución de carbonato de sodio y de potasio. Los detalles de esta operación, no tiene caso repetirlo aquí, pudiéndose consultar en el artículo mencionado. El rendimiento parece que es bastante bueno.

Dudamos que en la práctica este método pueda competir con el anteriormente citado, ya que es mucho más fácil separar los cloruros que los carbonatos. Por otra parte la missourita no es de las rocas más ricas en potasio, pero la leucita sí y el método se podría usar con ventaja

en el caso en que se pudiera hacer una concentración de leucita, que como ya se dijo anteriormente, la roca contiene 16% de leucita.

Creemos que las rocas más apropiadas para la extracción de la potasa son las graníticas, en las que se podría concentrar la ortoclasa económicamente, y usar el método de la cal preferentemente. Además, por este método se pueden extraer los álcalis raros, que también tienen importancia económica, los cuales se encuentran principalmente en la mica.

Hay otra fuente de potasio que es muy semejante a la de aglutinación, obteniéndose como un subproducto y no como producto principal, es el de las cámaras de polvo de la fabricación del cemento.

Como se dijo anteriormente, la lutita que se usa para la fabricación del cemento, contiene una cantidad más o menos grande de álcalis, ésta se mezcla con caliza y como en las rocas sedimentarias siempre hay una cantidad mayor o menor de cloro, al calcinar esta mezcla se formarán los cloruros alcalinos, que son ligeramente volátiles a la temperatura que se fabrica el cemento. Los cloruros alcalinos hierven a una temperatura entre 1,400-1,500°C, pero emiten vapores en cantidades apreciables a temperaturas inferiores. Los humos se encuentran enriquecidos en sodio, debido a que por lo general las rocas son más ricas en este elemento que en potasio, y además parece que el cloruro de potasio es más volátil que el de sodio.

Los polvos que se recogen en las cámaras se pueden lexiviar con agua para obtener los cloruros alcalinos, como se dijo en el caso anterior.

No se tiene conocimiento de la cantidad de polvos que se pueden obtener en las diversas fábricas de cemento del país, ni de su contenido en potasio; pero se estima que ésta sería una de las fuentes de aprovisionamiento que podríamos tener en la República.

Habiendo visto los minerales que realmente corresponden a la litósfera y lo que con ellos se puede hacer, vamos a estudiar la distribución del potasio en la hidrósfera.

EL POTASIO EN LA HIDRÓSFERA

El agua de mar que es donde se encuentra esta substancia en mayor cantidad, contiene iones de potasio que al ser concentrados se precipitan en sales de formas variadas, dependiendo de las condiciones físico-químicas del medio en que se producen y de las condiciones ulteriores a que se sometan las sales ya formadas; es decir, del tipo de metamorfismo a que se sometan las sales formadas.

Como sabemos, la salinidad del agua de mar varía con la localidad, estación y profundidad, pero la composición de su extracto o residuo seco es prácticamente constante. En este residuo la cantidad de potasio que se encuentra es de 1.107%. En las aguas dulces la cantidad de potasio es muy pequeña y muy variable, respecto a la cantidad de agua, pero tomando las aguas de todos los ríos en conjunto, es de 2.12% del total de las sales disueltas. Las aguas dulces van a dar al mar, donde se mezclan sus sales con una cantidad enorme de los mismos elementos, pero los métodos actuales de análisis no indican un cambio en la composición de las sales marinas. Cuando las aguas van a dar a cuencas cerradas, se evaporan y las sales contenidas en ellas se concentran, dando lugar a las aguas saladas y a depósitos salinos de mayor o menos importancia. En las aguas del Lago de Texcoco, he encontrado una cantidad de potasio con respecto al extracto seco de 3.53%.

Las aguas naturales, aun las marinas y las de los lagos salados, son demasiado diluídas para que la extracción de la potasa sea económicamente costeable; pero si estas aguas son concentradas por calor, ya sea de una manera natural o artificial, formando salinas, se producen o forman sales, algunas de las cuales se pueden utilizar en la extracción del potasio en forma de sales.

Generalmente las sales en conjunto son demasiado ricas en sodio y se debe procurar aprovechar este elemento cuando se hace la obtención de la potasa; comercialmente lo mejor es fabricar las sales de sodio, ya que al extraerlas de las aguas madres, que en términos salineros se llaman *amargos*, se provoca la concentración del potasio, llegándose a un punto en que ya sea costeable la extracción de las sales de potasio, que son las fuentes de las que proviene casi la totalidad de la potasa industrial.

Algunas veces, como lo hace la American Potash and Chemical Corporation en Searles Lake, Trona, E.U.A., los amargos que se producen naturalmente, son utilizados para la extracción de las sales de potasio y del bórax. La mayoría de las veces se explotan los depósitos naturales de sales de potasio que se han producido por la concentración natural de las aguas de mar y han formado grandes depósitos de dichas sales, como las que se explotan en Europa Central, notablemente en Stassfurt, Alemania y en Carlsbad, Nuevo México, Estados Unidos de América. En México, haciendo exploraciones para petróleo, se han encontrado algunas sales de potasio en la región ístmica, pero no se han explotado, ni siquiera

se ha cubicado o estimado la posibilidad de obtener sales de potasio de esta fuente.

Las sales de potasio más importantes de este origen son las siguientes:

TABLA 15.—MINERALES DE POTASIO

Nombre de la Roca	Fórmula	K %
Silvita	KCl	52.44
Arcanita	K ₂ SO ₄	44.87
Nitro	KN0 ₃	38.67
Aftitalita o		
Glasserita	3K ₂ SO ₄ .Na ₂ SO ₄	35.28
Rinneita	3KCl.NaCl.FeCl	26.40
Singenita	K ₂ SO ₄ .CaSO ₄ .H ₂ O	23.81
Kainita	KCl.MgSO ₄ .3H ₂ O	23.60
Leonita	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .4H ₂ O	21.32
Langbeinita	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄	15.18
Carnalita	KCl.MgCl ₂ .6H ₂ O	14.09
Polihalita	K ₂ SO ₄ .2CaSO ₄ .MgSO ₄ .2H ₂ O	13.00
Hanksita	KCl.2Na ₂ CO ₃ .9Na ₂ SO ₄	2.50

Estas sales no todas tienen la misma importancia y generalmente se encuentran acompañadas de otras sales, que usualmente se separan por cristalización fraccionada o por disolución diferencial y cristalización.

Uno de los casos más notables es el que se presenta en la región de Carlsbad en donde se ha encontrado una capa gruesa de los minerales halita y silvita que están en la proporción de 3 a 1 y que han sido muy fácil de explotar, o al menos lo eran en agosto de 1936.

Los métodos de separación que se usaban eran el de disolución diferencial y cristalización fraccionada. Para esto el material que venía de la mina se quebraba hasta un tamaño aproximado de 6 milímetros, para separar los granos de ambos cloruros que como sabemos no dan sales dobles ni soluciones sólidas, sino sólo asociación de ambos minerales. Este material se trata por una solución saturada y caliente de cloruro de sodio proveniente de una operación anterior, con objeto de disolver todo el cloruro de potasio, quedando todo el de sodio intacto; se separan ambos cloruros por filtraciones y se tira el residuo de sodio que no tiene ningún

valor comercial en dicho lugar. El residuo de sodio va a dar a una lagunita llamada Salt Lake, que es cerrada y por lo tanto no va a dañar a las aguas del Río Pecos, cuya cuenca pertenece Carlsbad.

La disolución se hace en contra corriente y está controlada de tal manera que, la solución salga saturada de ambos cloruros y que también la sal salga solamente con la cantidad de potasio que pueda contener una solución saturada de ambos cloruros, a la temperatura ordinaria y únicamente en la cantidad que pueden tener los poros dejados entre los granos de sal; cantidad que es muy pequeña para convenir recuperarla. Además, en el agua se van otras impurezas que de no quitarse se acumularían en la solución y con el tiempo alterarían el cloruro de potasio.

El cloruro de potasio se obtiene por cristalización de la solución saturada de ambos cloruros en caliente, la que al ser enfriada sólo deposita el cloruro de potasio, quedando el de sodio en solución. El agua madre se separa por decantación y el resto en aparatos Oliver, en donde se lava y se seca; obteniéndose un producto que ensaya como el 98% de pureza y que es el muriato de potasio comercial.

El agua madre junto con el agua del lavado del muriato vuelve a entrar en el proceso, recuperándose de esta manera casi todo el cloruro de potasio contenido en la mina, junto con el potasio que alguna otra sal que en pequeña cantidad pudiera contener el material minado. Solo se pierde la pequeña cantidad que va en el cloruro de sodio que, además, sirve para llevarse otras sustancias presentes en pequeña cantidad, pero que pueden ser concentradas a cantidades notables para después precipitarse junto con el muriato de potasio.

Como ya se ha dicho, en Carlsbad, por ahora sólo están explotando esta capa de cloruros de sodio y de potasio, porque es muy abundante y se presta a un tratamiento muy sencillo y económico.

En el caso anterior se describió el método de disolución parcial; pero hay otras empresas que emplean otro método que no se estudió.

El material de la mina se compone de una mezcla de sales alcalinas, en las que predominan los cloruros de sodio y de potasio en proporción aproximada de 3 para el primero por 1 para el segundo, habiendo además, otras sales alcalinas y materias insolubles.

En esta otra empresa se sigue un procedimiento ligeramente diferente, que consiste en hacer florear el cloruro de sodio y deprimir el de potasio, con lo que se obtiene un concentrado muy rico en potasio, el que se disuelve en agua caliente y la solución filtrada y saturada se hace

cristalizar por evaporación y enfriamiento, obteniéndose un producto muy puro.

Parece que la ventaja de este último método consiste en que hay que tratar menores cantidades de soluciones y además, permite hacer la cristalización por evaporación de triple efecto, que es posible dada la riqueza en potasio, que en caso anterior no lo es porque el sodio se precipita primero.

En los Estados Unidos de América, hay otra planta que produce potasa y bórax, esta es la American Potash and Chemical Corporation. Esta planta utiliza como materia prima no las sales, sino los amargos obtenidos de unas salinas naturales que se encuentran en la parte desértica del poniente de los Estados Unidos, el lugar preciso está a orillas del Lago Searles, Cal., en pleno desierto de Mojave. Aquí hay una ciudad que ha sido construida con motivo de estas explotaciones y que cuenta con todas las comodidades; la ciudad se llama Trona, en honor del mineral más abundante en esta región que es una sal doble de carbonato y bicarbonato de sodio que tiene la composición siguiente: $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

La historia del desarrollo y vicisitudes por las que ha pasado esta pequeña ciudad es muy romántica e interesante, lo mismo que la actuación de la compañía que la opera, que en la parte química ha logrado aprovechar casi todas las sales contenidas en el lago, aún las que se encuentran en muy pequeñas cantidades como las sales de litio y bromo. En la parte social ha logrado transformar una parte del desierto que por su carácter inhospitalario se le había llamado Valle de la Muerte.

Withington ha hablado en el seno de esta Sociedad sobre esta importante industria. También es interesante leer el libro de Teeple a este respecto.

En este trabajo sólo me referiré a los puntos más salientes del método que se ha adoptado para la extracción del muriato de potasio, ya que es tan sólo un trabajo de carácter general y que no tiene la pretensión de agotar el tema.

Como decía anteriormente en este proyecto se utilizan los amargos obtenidos directamente, por medio de pozos en las sales alcalinas contenidas en el lago. El Lago Searles es una depresión en la parte más baja de la región, en la cual debido al clima las aguas se han concentrado a tal grado que llenan el vaso del lago con sales que ya se han precipitado. El espesor de estas sales es de 75 piés (25 m.) de los cuales los 7 primeros están formados por carbonato de sodio, luego sigue una capa de trona y en la parte superior se encuentra una capa gruesa de

más de 20 piés de trona (hialita). El lago está seco en la superficie, siendo esta superficie blanca, formada por las sales alécalinas con irregularidades y bancos a la orilla formados por trona. En la época de lluvias, en invierno el lago se cubre de una capa de agua de unos cuantos centímetros de espesor. Si bien es cierto que la mayor parte del tiempo la superficie del lago está seca, el manto freático está muy cerca de la superficie y el agua del subsuelo es una solución saturada con las sales más solubles o menos abundantes, por lo que constituye un amargo.

Teeple, dice en su tratado que la solución extraída del lago tiene una salinidad de 378 gramos por kilo y que de estos, 40 son de potasio, correspondiendo a 11.50% del total de sales; el resto está formado por sales de sodio y los aniones en orden de abundancia son: cloro, sulfúrico, carbónico, bórico y otros en muy pequeña cantidad.

La solución se extrae de la sal por medio de pozos perforados en ella y que se bombean muy despacio, pues se ha observado que si se bombean fuerte el contenido en potasio disminuye, lo que es contrario al objeto que se propone.

La solución es tratada en evaporadores de triple efecto y se evapora en contra corriente, de manera que la solución salga lo más caliente posible, llevándose la evaporación hasta que las sales de potasio están a punto de cristalizar. Al llegar a este estado se ha precipitado una cantidad grande de sales de sodio en forma de cloruros, y se tira en el lago por no tener valor comercial en las condiciones de la trona y de la burkeita (sal doble de sulfato y carbonato de sodio), las que después se separan y se venden por separado. El agua que sale del evaporador se enfría rápidamente en cristalizadores al vacío, en donde cristaliza el muriato de potasio, separándolo rápidamente por decantación y centrifugación del agua madre en la que lentamente cristaliza el bórax.

En México tenemos aguas muy parecidas a las que han dado lugar a los depósitos de sales del Lago Searles, pero en ningún lugar son éstas tan abundantes como allá; por lo que hemos visto y sabido, las sales sólo se forman durante las épocas de sequías y se les da el nombre de tequesquite. Estas sales se obtienen de los lagos secos de Texcoco en el Estado de México y D. F., la laguna Oriental que se extiende desde El Carmen, Tlaxcala, Oriental, Pueb., hasta Alchichica, Ver., y de las playas de Zacoaleco y Sayula en Jalisco. En los lugares desérticos del norte del país se forman sales ricas en sulfatos. En Adair, Son., dicen que hay una cantidad grande de sales en la superficie, pero los informes que me han llegado me parecen exagerados, siendo quizás propaganda comercial. Sólo he examinado de allí muestras ricas en sulfatos y he visto cristales muy

hermosos de trona, pero no tengo la menor idea de la importancia de estos depósitos.

Ahora hablaré del Lago de Texcoco que me es muy conocido. En el resto del mencionado lago, el más bajo y salado de la cuenca de México, se encuentra una cantidad de agua variable según el estado de avance de la estación. En septiembre alcanza su mayor altura y dilución y la salinidad baja a unos 3 ó 4 gramos por kilo, llegando sólo a la categoría de aguas saladas; en mayo con frecuencia está completamente seco o con charcos de muy poco tirante, unos cuantos centímetros, que pueden contener aguas de concentración de amargos, en esta época todo el fondo del lago está cubierto por una capa más o menos gruesa de sales, pero raras veces forman costras a menos que se provoque su formación artificial para la obtención del téquesquite.

Las aguas del lago no son explotables en las condiciones ordinarias, ya que aunque abundantes están muy diluídas, y si se concentran, están en tan pequeña cantidad que no se pueden recolectar. En el subsuelo es en donde hay una gran cantidad de sales y es de donde se puede obtener una cantidad prácticamente inagotable de sales.

Se han perforado más de 50 pozos para buscar las sales y éstas siempre se han encontrado. Su salinidad ha variado desde unos 12 gramos por kilo de agua hasta poco más de 140 gramos por kilo. Aunque la salinidad varía, la composición del extracto seco es casi constante.

Al concentrarse estas soluciones a la temperatura ambiente, que en México es en promedio de unos 20°C., se obtiene la siguiente secuencia de precipitación:

1.—Bicarbonato de sodio.

2.—Trona.

3.—Trona y halita.

Después las condiciones varían con la temperatura reinante en la época de que se trata, de cualquier manera viene el carbonato de sodio.

4 a.—Trona, halita y carbonato de sodio heptahidratado

(a temperaturas medias superiores a 20°C.).

4 b.—Halita, trona o bicarbonato o carbonato de sodio *decahidratado*

(a temperaturas inferiores a 20°C.).

5.—A mayor concentración se precipitan las sales de potasio, como silvita, aftitalita y hanksita.

Los sulfatos burkeita, aftitalita y hanksita.

Los boratos como teeplita y bórax.

En este último paso no tuve ninguna oportunidad de estudiar el orden de precipitación, pero sé y he visto la formación de estas sales con excepción de la hanksita, que sólo la he visto en el Lago Searles, pero por analogía debe formarse en el Lago de Texcoco.

Como se ha dicho, los actuales directores de Sosa Texcoco, S. A., no han tenido interés en trabajar estos productos, y únicamente sé que han obtenido soluciones muy concentradas con el boro y potasio.

La otra fuente de donde podríamos extraer potasa en nuestro país es de los amargos de las salinas que hay en las costas, pero parece que no se han interesado por la potasa, seguramente es debido a que no se ha estudiado comercialmente el asunto y no hay mercado para el cloruro de magnesio que necesariamente tiene que producirse.

Respecto a si en el país hay o no depósitos salinos semejantes a los de Stassfurt en Alemania, o a los de Carlsbad en los Estados Unidos, tenemos muy pocos datos. Solamente conozco dos casos en donde se han encontrado depósitos salinos. En el Istmo de Tehuantepec se han encontrado domos salinos, sobre todo en el Campo de Soledad donde hay los minerales de potasio, tales como carnalita, silvita, rinneita y polihalita. Estos fueron estudiados por van Tijn en 1924 y llegó a la conclusión que son muy inferiores a los de Stassfurt, habiendo hecho sólo dos sondeos; posteriormente en 1945 vi una muestra de otro pozo de Soledad en donde también se encuentra carnalita, pero sólo sé que hay potasio.

Por lo anteriormente dicho éste es un lugar en donde hay posibilidades de un desarrollo comercial de sales de potasio.

En las cercanías de Cuchillo Parado, Municipio de Coyamé, Chih., Petróleos Mexicanos abrió dos pozos de exploración en 1947; éstos atravesaron 2,000 metros de sal con anhidrita y azufre, pero no se encontró potasio. Esto no quiere decir que no exista, pues puede suceder que la localización del pozo no haya sido propicia para ello.

En lo personal me parece que podemos obtener potasio como subproducto de las sales de Texcoco, pero su cantidad estará siempre subordinada a las demandas de carbonato de sodio, que comercialmente es la sal más importante. La cantidad de potasa que se puede obtener de esta fuente es relativamente pequeña e insuficiente para satisfacer las necesidades del país.

El descubrimiento de yacimientos de importancia del tipo de los de Alemania o de Carlsbad, sería muy interesante; pero no creo que fuera un éxito comercial, ya que éstos producen una cantidad tal que no podría consumir el país y además habría la competencia de los yacimientos de

los Estados Unidos y el de Kalisyndikat, que tarde o temprano habrá de rehacerse. Esta es la principal razón por la que veo grandes perspectivas a los descubrimientos de Soledad.

En el país tenemos otra fuente de potasio en los depósitos de alunita, de los cuales conozco los de Neutla, pueblo que pertenece al Municipio de Comenfort, Gto.; estando los yacimientos en tres Municipios, Comenfort, Juventino Rosas y Celaya. La cantidad de material es prácticamente inagotable, puesto que se trata de cerros formados por rocas de alunita y no de filones como en otras partes del mundo. La calidad de la alunita ciertamente no es de la mejor, pero puede ser explotada industrialmente con éxito.

Una prueba de que es explotable industrialmente, es el hecho de que con sólo la fabricación del alumbre de potasio, por métodos primitivos y dando una producción de ínfima calidad, por lo que hay que importar sal de un grado mayor de pureza, puede vivir la Congregación de Rincón del Centeno, con un censo en el año de 1940 de 1016 habitantes, desde hace más de 100 años.

La alunita es un sulfato doble de $K_2SO_4 \cdot 3 (OH)_2Al_2(SO_4)_3$, que es prácticamente insoluble en agua. Por una calcinación moderada pierde sus oxihidrilos y queda un residuo de composición $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 2Al_2O_3$ que sigue siendo insoluble, pero que se hidrata lentamente y se disuelve en parte dando una solución de alumbre, el que se hace cristalizar, dejando un residuo de alúmina y las impurezas que contiene la roca original. En esto se basa el procedimiento que se usa en Rincón del Centeno y el que se ha usado desde hace varios siglos en Tolfa, Italia para obtener el alumbre.

Si la alunita se calcina a temperatura mayor de $1200^\circ C.$, se obtiene una masa que se forma de sulfato de potasio libre, el que se puede extraer por agua dejando un residuo que se puede emplear como refractario. Este procedimiento se ha puesto en práctica en Marysvale, Utah, E.U.A.

En el Estado de Chihuahua se encuentra este mineral, pero la localidad me es desconocida. Acerca del mineral de Chihuahua, he visto un trabajo que fué presentado como tesis profesional de un Químico, pero el punto de vista del investigador era el de obtener un producto refractario.

Hemos hecho estudios y visto que es posible obtener de la alunita de Neutla, sulfato de potasio, alúmina que es materia prima para la obtención del aluminio, ácido sulfúrico y un residuo que puede servir como refractario. A mi modo de ver, en esta industria el sulfato de potasio

estaría supeditado a la industria del aluminio; pues, parece que en las actuales condiciones, la extracción del potasio de la alunita no es costeable, si no se trabaja simultáneamente el aluminio.

La jarosita es otro mineral de potasio derivado del compuesto de fierro correspondiente a la alunita, pero es un mineral más raro y el óxido de fierro no tiene el mismo valor que el de aluminio. Esta es la razón por la que nos parece que este mineral sólo en caso de emergencia podría servir como una fuente de potasio.

En las alunitas se encuentra principalmente el potasio, aunque existe una de sodio, pero es rara; ordinariamente las alunitas siempre contienen una cantidad mayor o menor de este elemento, lo que hay que tener en cuenta y hacer la separación del potasio del sodio, operación que es complicada porque hay mucha tendencia a formar la sal doble, la aftitalita. En el caso de la alunita el alumbre de potasio se separa fácilmente del de sodio.

Con lo anterior creemos haber revisado todas las fuentes de potasio de donde se obtiene este elemento a partir de los minerales; pero nos queda aún por investigar si habrá otras fuentes de donde se pueda extraer este elemento, y la respuesta la encontramos en la biósfera.

EL POTASIO EN LA BIÓSFERA

El potasio es un elemento indispensable para el metabolismo normal de los carbohidratos, por consiguiente las plantas no pueden vivir sin este elemento, razón por la cual es indispensable en los fertilizantes. Las plantas, sobre todo las terrestres, tienen propiedades selectivas por la potasa de preferencia a la sosa, así al quemar las plantas queda en la ceniza un residuo rico en potasio, que es a lo que llamamos cenizas.

Al principio toda la potasa se extraía por este procedimiento, de aquí el nombre de potasio que tiene en nuestro idioma y que viene del inglés. El carbón se quemaba en braseros en forma de ollas, "pot", lo mismo que en francés y en catalán, y las cenizas "ash", o sea "potash", así llamado en inglés, lo que dió origen a nuestro término *potasa* para la sustancia alcalina y potasio para el elemento.

El método de extracción consiste en la preparación de la lejía; con lo que se obtiene una solución concentrada de las sales de potasio y sodio en la que predomina el primero y que se pueden separar por cristalización fraccionada.

Para los detalles pueden consultarse los tratados antiguos de Química Industrial, por ejemplo, el de Dumas, muy completo.

Este procedimiento ha sido reemplazado por la extracción de la potasa de las sales de Stassfurt, y ahora de Trona y Carlsbad; pero a pesar de esto creo que en algunas de las ciudades donde se consume mucho carbón, como en la de México, aun cuando la competencia del gas, la kerosena y la electricidad la han afectado, sigue siendo su consumo importante, se podrían comprar las cenizas y establecer la industria de la potasa.

El objeto de este trabajo ha sido solamente indicar las fuentes de donde se puede obtener este elemento, que es tan importante para la industria, sobre todo para la agrícola en la cual es insustituible.

BIBLIOGRAFÍA

- Iddings, J. P. (1913).—*Igneous Rocks*, Vol. II.
Rosenbusch, H. (1910).— *Elemente der Gesteinlehre*, p. 208.
Teeple, John E. (1929).—*The Industrial development of Searles Lake brines*: Amer. Chem. Soc. Mon. Series, N. Y.
Withington, E. H. (1944).—*La industria de las sales alcalinas en el Lago Searles*, Cal., E. U. A.: Soc. Geol. Mex., Bol., Tomo XI, Nos. 7-12, pp. 53-69, 10 figs.