

EL LITIO DEL SALAR DE UYUNI INNOVACIÓN – TECNOLOGÍA – EXPLOTACIÓN

Proyecto: Universidad Autónoma "Tomás Frías"
Universidad Técnica "Academia de Minas de Freiberg"
Potosí – Bolivia

• RESUMEN -

Dr.-Ing. Jaime T. Claros Jiménez
RESPONSABLE - UATF

ABSTRACTO

Pese a los imponderables vividos, el "Proyecto Salar de Uyuni – UATF – UT. de Freiberg", desarrollado conjuntamente entre las Universidades de Potosí y Freiberg, ha culminado con sus objetivos básicos, en el propósito de generar conocimiento científico y tecnología apropiada, para la explotación y aprovechamiento, a través de la industrialización integral, de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni. Una demostración de estos objetivos constituyen las Patentes registradas a escala nacional e internacional y los parámetros de la obtención de Carbonato de Litio y subproductos, con alta calidad en pureza y rendimiento, requeridos en el mercado internacional del Litio.

Ha sido muy valioso el aporte científico, de nivel mundial, de la UT. de Freiberg, dirigido por el Prof. Wolfgang Voigt y de los ahora expertos bolivianos, investigadores de la UATF. Gracias a este Proyecto, la UATF, Potosí y el Salar de Uyuni se han convertidos en objetos del Litio muy famosos en Europa y muchos países del mundo, desde luego Bolivia y Alemania; pues, se han proyectado 6 filmes en diferentes canales de televisión de Europa Central, en seminarios y congresos científicos internacionales, además de haberse editado por lo menos 40 publicaciones en revistas científicas, en alemán e inglés. Los resultados cualitativos y cuantitativos específicos de cada fase del proyecto serán también objeto de sendas publicaciones científicas, editadas por las Universidades que han compartido y desarrollado este proyecto productivo.

1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO UNIVERSITARIO

La Universidad potosina tiene una trayectoria de muchas décadas de incursión y experiencia investigativa en el Salar de Uyuni; p.e. cuenta con una evidencia documentada, de que **el descubridor del Salar de Uyuni es el Prof. Dr. Manfred Wolf**, (1963-65) cuando se desempeñaba como Docente de la Carrera de Geología de de la UATF de Potosí. Este científico, delegado por la UT. de Freiberg para Trabajar en Potosí, estableció junto a docentes y estudiantes selectos de la Universidad potosina, la concepción técnica y científica sobre el origen, contenido y estructura de sales, salmueras y el Litio, hasta hoy vigentes, del Salar de Uyuni.

Ciertamente, un par de años antes, los estudios de **F. Ahlfeld, L. Branisa y A. Scherbina**, y otros (entonces aún inéditos) y luego el aporte científico de la **Misión ORSTOM – UMSA (Risacher – Ballivián y otros, 1970 -80)**, sobre el Salar de Uyuni continúan siendo una base de consulta científica vigente sobre recursos evaporíticos del S.W. Potosino.

En base a estos avances la **UATF**, a finales de los 80, crea su "**Comisión Regional Minero Metalúrgica (CORMIME - UATF)** para ejecutar, entre otras tareas:

- 1) Incursiones de investigación científica al Salar de Uyuni, para discutir y poner en evidencia su posición política y técnica, por un aprovechamiento soberano y con alto beneficio económico de los recursos naturales de la Cuenca Evaporítica del Sud Oeste del Departamento de Potosí.

- 2) Con el apoyo del **Comité Cívico Potosinista (COMCIPO)**, la **UATF** comanda la lucha del pueblo potosino (1989 - 1993), en defensa de la Ley 719 y su órgano ejecutivo, (**CIRESU**), para que los RR. NN. del S.W Potosino constituyan la base del despegue económico de la Región, ante la arremetida y entreguismo del gobierno de ese entonces a transnacionales, como la **LITHIUM CORPORATION**.
- 3) La redacción, por encargo del Gobierno (1991 - 1992), de (hoy una Enciclopedia técnica, económica y política, sobre el Salar de Uyuni): los **"Términos de Referencia para Licitación Internacional para la Explotación e Industrialización de los RR. NN. del Salar de Uyuni"**.
- 4) Junto a la **UMSA** (1990-1992) se elabora a diseño final de ingeniería y factibilidad el **"Proyecto Planta Piloto de Carbonato de Litio UATF - UMSA"**, que fue entregado al Gobierno Boliviano, para su financiamiento. Ese, como los demás gobiernos, ignoraron la existencia de este aporte.
- 5) **En octubre 2006, la UATF recibe el encargo personal del Presidente Evo Morales Ayma, con un soporte de \$us. 500.000**, para elaborar proyectos de aprovechamiento de los RR.NN. del Salar de Uyuni. Para el efecto se conforma la **"Comisión Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia"**. Lamentablemente, la parte gubernamental de esta Comisión, encomendada para este propósito, y la oferta del Presidente Morales, sin explicación alguna, hasta la fecha, no han dado muestras de haber existido alguna vez.



Fig. 1. Salar de Uyuni - Prov. D. Campos - Potosí

Todos estos antecedentes, que ciertamente son también el resultado de inquietudes e iniciativas de algunos profesionales potosinos, muy pocos por cierto. Ellas han fortalecido, con su experiencia, no solo el argumento troncal, sino que se han constituido en la catapulta básica para el cumplimiento del Encargo Social del pueblo a su Alma Mater, la misión del principio universitario: elaborar y ejecutar proyectos que impulsen el desarrollo regional y nacional; en este caso particular, llevar a cabo el "Proyecto Salar de Uyuni – UATF", ajustado a las condiciones geológicas, climáticas y de desarrollo socio – económicas de la región, para de esta manera, mejorar las condiciones de vida de los habitantes del Departamento de Potosí y el país.

2. EL "PROYECTO SALAR DE UYUNI-UATF" – OBJETIVOS – BASE CIENTÍFICA

Con la cosecha propia de experiencias, resultados y debilidades vividos, del "Proyecto de Planta Piloto de Carbonato de Litio – UATF-UMSA" (1990 - 1992)y, pese al incumplimiento de los órganos del Estado a su compromiso, la universidad potosina inicia sola, (febrero - junio 2007), su "Proyecto Salar de Uyuni - UATF", retomando sus planes y objetivos trazados, sus propios avances científicos, tecnológicos y pretendiendo utilizar los terrenos ya definidos sobre el Salar de Uyuni (Río Grande y aledaños), en 1990. Claro que, a estos terrenos no se nos permitió acceder.

Para desarrollar un proyecto de tal magnitud la UATF ha buscado y encontrado el apoyo del más avanzado nivel científico universitario a escala internacional en materia de conocimiento y desarrollo de procesos de sales, la UT. de Freiberg. Con ella, aprovechando el Convenio, que data de los años 60 y ratificado en 1999, se suscribe en marzo de 2008 el **"Programa de Trabajo para el Proyecto Salar de Uyuni – UATF, entre la Universidad Técnica "Academia de Minas de Freiberg (UT.de Freiberg) – R.F. de Alemania y la Universidad Autónoma "Tomás Frías" (U.A.T.F) de Potosí.**

2.1. El Salar de Uyuni, un Emporio Natural – Único en Problemas y Grandes Perspectivas

Para la puesta en marcha de este trabajo internacional, mancomunado entre las dos Universidades, se identifican, inicialmente, los problemas más relevantes, para la implementación de un proyecto que permita el Aprovechamiento Integral de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni:

- 1) Las condiciones Naturales de existencia del Salar de Uyuni son muy diferentes a las de cualesquier otro salar semejante en el mundo,
- 2) Por tanto, No es posible emplear cualesquier método tradicional conocido, como el Método Foote, para la explotación del Salar de Uyuni, el mismo que está ligado a la construcción de enormes piscinas de evaporación y tendrían que emplearse grandes volúmenes de cal para el proceso de tratamiento de la salmuera.
- 3) La costra salina de toda la superficie del Salar de Uyuni se encuentra prácticamente inaccesible, por lo menos 6 meses (casi medio año); por lo tanto, paralizada toda actividad laborable, salvo grandes inversiones para evitarlo, debido a las precipitaciones pluviales intensas y la consiguiente inundación persistentes de la región. Este es un factor altamente negativo para el despliegue de un sistema de evaporación por piscinas, necesario para la concentración de salmueras y otras acciones operativas de producción sobre el Salar.
- 4) En cambio, en otros salares no ocurre lo mismo; pues, son regiones casi totalmente secas, especialmente en el Salar de Atacama (Chile), donde casi no se conocen las lluvias. Este si es un factor muy favorable para la producción chilena de Litio.
- 5) La composición química muy compleja de la salmuera del Salar de Uyuni constituye un problema técnico - químico, que no permite un aislamiento sencillo del Litio de los otros elementos componentes.
- 6) El problema capital de la composición y estructura química de la salmuera de un salar constituye la Relación Magnesio/Litio (Mg/Li). Mientras que en otros salares como en el de Atacama (Chile) se tiene una $R = 6/1$ (6Mg/1Li), en el Salar de Uyuni se tiene una $R = 18/1$ (18Mg/1Li), la que en algunas zonas se expresa incluso una $R = 24/1$ (24Mg/1Li). Por lo tanto, el enriquecimiento del Litio con la consiguiente separación o eliminación del Magnesio, es el desafío fundamental para la determinación y empleo de una tecnología propia para la explotación de salmueras del Salar del Uyuni.
- 7) Para todo propósito de industrialización de diferentes mercancías de sales de Litio y subproductos se tropieza con otro lamentable inconveniente, la falta de una salida soberana al mar. Venciendo esta desventaja, que permita la exportación libre de nuestros productos, se reducirían los costos de operación y los consiguientes costos y dificultades de comercialización. El enclaustramiento marítimo y por cierto comercial es un factor negativo, lamentable, que entorpece cualesquier emprendimiento financiero y relación al mercado internacional del Litio.

Todos estos problemas, que nos ubican en una posición de desventaja, no solo frente al primer productor actual de Carbonato de Litio en el mundo, Chile, obligan a los profesionales bolivianos a redoblar energías y fortalecer conocimientos para asumir desafíos que rompan con esquemas tradicionales, que permitan vencer los problemas anotados, en la perspectiva de consolidar una Bolivia de la gran industria de Litio, con un espacio propio en el mercado internacional para sus productos.

2.2. La Industria del Litio: un Objetivo Nacional

Este proyecto conjunto mantiene el objetivo trazado desde los años 90, el mismo que consiste en: Generar Conocimiento Ciencia y Tecnológico para la **"Explotación e Industrialización con un Aprovechamiento Integral de los Recursos Evaporíticos del Sud Oeste del Departamento de Potosí"**, tomando en consideración una amplia preservación ambiental y de la belleza armónica y turística del Salar de Uyuni, el logro de valores agregados de los productos a obtener; orientando resultados económicos de los mismos hacia la mejora de las condiciones socio - económicas de vida de los habitantes de la región, el Depto. de Potosí y el país.

2.3. Una Estrategia de Investigación Científica

Para el cumplimiento de estos objetivos genéricos, el Proyecto ha diseñado un Plan Estratégico de Investigaciones, tal que le permita ingresar y consolidar la Industria del Litio en Bolivia, en base a las siguientes Fases Operativas, que constituyen los elementos troncales del Sistema:

- Fase I** *Exploración exterior y en el interior de la costra salina del Salar de Uyuni y su entorno, a través de métodos de perforación, pruebas de bombeo de salmueras y otros.*
- Fase II** *Explotación - extracción y tratamiento de Salmueras del Salar de Uyuni para la Concentración del Litio a través de Conos, Sistemas Modernos de Evaporación; con estricta observancia de la Preservación Ambiental de la región.*
- Fase III** *Proceso Operativo de Tratamiento de Salmuera Concentrada en el Technikum, la Planta Experimental de Producción de Carbonato de Litio y Centro de Cualificación Práctica y Teórica de Personal especializado para el Tratamiento de Sales y Salmueras, con énfasis en Preservación Ambiental en la planta y su entorno.*
- Fase IV** *Creación, implementación y puesta en marcha del "Instituto Internacional de Investigaciones de Salares Potosí", para la formación de profesionales especialistas a nivel de Post Grado, en explotación y tratamiento de sales y Salmueras.*
- Fase V** *Implementación del Centro de Diseño, Elaboración Técnica e Ingeniería Financiera de "Proyectos de Inversión para la Explotación, construcción y Operación de Plantas Piloto y Plantas Industriales" para las obtención de productos terminados y semiterminados, provenientes de salmueras de Salares, con valor agregado, competitivo en el mercado internacional del Litio y sus subproductos derivados.*

De estas cinco fases de investigación científica, para establecer una tecnología de obtención de Carbonato de Litio y sus subproductos, bajo las condiciones definidas en los objetivos del proyecto, se requiere, casi inicialmente, lograr el dominio de dos operaciones muy complicadas y poco conocidos por la industria de las sales: el Proceso de eliminación del agua contenida en las salmueras y la reducción, hasta su eliminación, del alto contenido del magnesio en las soluciones del Salar de Uyuni. Los estudios planificados por la UATF – UT. de Freiberg han tomado como tarea fundamental resolver estos dos problemas para establecer la línea maestra de una tecnología apropiada a las condiciones naturales del Salar de Uyuni.

2.4. Base Teórica del Estudio

El "Proyecto Salar de Uyuni – UATF" ha asumido el desafío de encontrar los medios científicos necesarios, para aprovechar racionalmente los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni, promoviendo y desarrollando conocimiento, para establecer una tecnología propia, ajustada a las condiciones naturales y a la realidad socio económica, que permita captar la fuerza de trabajo, para mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la región, el Departamento de Potosí y Bolivia.

Para el efecto se debe remarcar, que los avances científicos logrados por el Prof. Manfred Wolf y el trabajo conjunto UMSA (Bolivia)- ORSTOM (Francia), referidos a los estudios geológicos, hidrogeológicos, mineros y otros en el Salar de Uyuni y sobre la composición química y características de sus salmueras, etc., constituyen una base científica muy importante, para la ejecución de los trabajos programados.

3. LAS FASES OPERATIVAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Trabajos de exploración y Estudio de Salmueras en el Salar de Uyuni.

Para los trabajos de exploración en el Salar de Uyuni se han implementado, inicialmente, operaciones tradicionales de muestreo de sales cristalizadas y salmueras, acopladas a operaciones de perforación. En base a un sistema de investigación hidrogeológica se ha diseñado un esquema de perforaciones, consistente en 5 pozos de diferentes profundidades por Punto de Trabajo (zona de estudio), que conformaban un circuito de información hidrogeológica. Los intentos iniciales con perforadoras tradicionales, no han tenido éxito; sin embargo, gracias a un equipo, dotado de una corona, especialmente diseñada por el Proyecto para el Salar de Uyuni, se han perforado pozos de 2" con ampliación posterior a 8" de diámetro en el cabezal del pozo, con 3m a 14m de profundidad, suficientes para los objetivos del estudio. Este operativo se ha ejecutado con muchas dificultades de tipo logístico, y ante todo, por el bajo peso y la baja potencia de la máquina perforadora para vencer la resistencia que ofrecían las capas de arcilla y otros materiales endorreicos contenidos entre los estratos salinos del Salar de Uyuni.

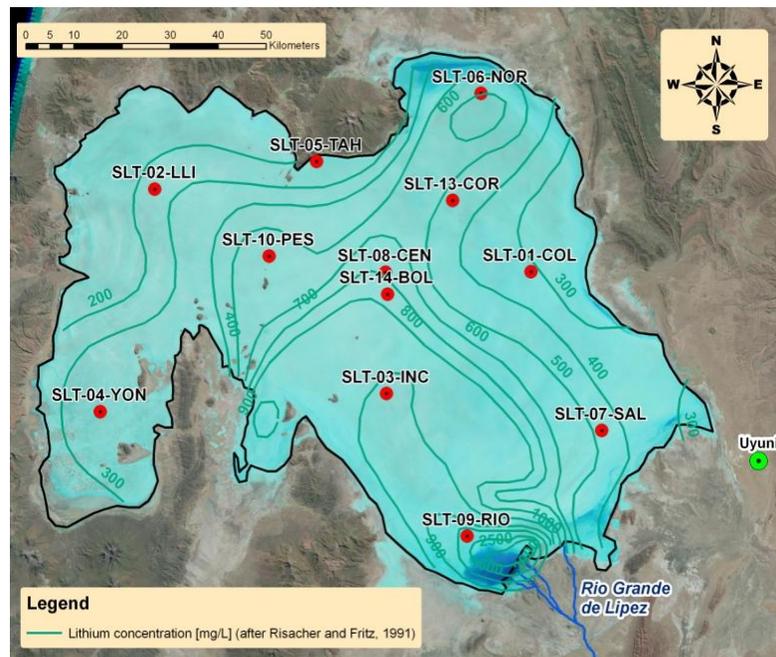


Fig. 2. Puntos de Perforación – Exploración - Hidrogeología en el Salar de Uyuni [5]

En las gestiones de 2009 y 2010, con incursiones de 80 y 50 días al Salar de Uyuni respectivamente, se han realizado, entre otras, 33 perforaciones efectivas, en 11 puntos de trabajo, y dos ojos de salmuera, puntos adicionales de muestreo, distribuidos en toda la extensión territorial del Salar de Uyuni.

Los **objetivos trazados para la perforación de pozos** estuvieron dirigidos a la:

- 1º Extracción sistemática de cores – testigos, tales que permitan conocer las características de cristalización de los estratos salinos y arcillosos, su estructura, potencial, porosidad, etc. en la costra, corteza y a profundidades.

- 2º Realización de muestreos sistemáticos y a profundidades diferentes, para establecer la composición química zonal y la concentración del Litio en las sales sólidas y salmueras.
- 3º Ejecución de pruebas de bombeo en los pozos perforados, para determinar las características, entre ellas, las velocidades y volúmenes de extracción y recarga de salmueras con fines de establecer ritmos de explotación y alimentación a los Conos de Evaporación.
- 4º Determinación, vía sembrado y cosecha de sensores electrónicos, de la existencia y/o estabilidad de fluencias de corrientes internas y la influencia de infiltraciones externas (lluvias, inundaciones) en la composición química de salmueras en el interior de la costra salina, entre otros factores.



Fig. 3. Ensanchado de Diámetro de Perforación a 8''

Se han logrado resultados muy interesantes, muchos, diferentes a los obtenidos por la Misión ORSTOM – UMSA de los años 1980 - 1990. Toda esta información será objeto de una publicación científica especial. Las muestras obtenidas en estas operaciones son aún materia de análisis en los laboratorios de la UT. Freiberg y la UATF.



Fig. 4. Encamisado de Pozos Perforados

3.2. Concentración de Litio en Salmueras – Conos de Evaporación Solar.

Frente al empleo de las tradicionales piscinas de Evaporación, como ocurre en Atacama - Chile, Hombre Muerto – Argentina, Salt Lake – USA, China, etc.), que no son apropiadas para el Salar de Uyuni, por tener éste casi medio año de periodo pluvial e inundación, el proyecto UATF – UT. de Freiberg ha logrado diseñar y desarrollar "Conos de Evaporación Intensiva", (de 3mx3m), con costos mínimos, construcción simple, alta flexibilidad y movilidad, fácil operación, alta intensidad de evaporación, excelente rendimiento en la concentración del Litio, buen nivel de preservación ambiental y de la belleza del Gran Salar de Uyuni. El proceso de operación de un Cono de Evaporación Intensiva consiste en eliminar el agua y concentrar el Litio contenidos en la salmuera.



Fig. 5. Conos en Proceso de Evaporación

Alimentando de 80 a 120 L/d de Salmuera bruta a un Cono de Evaporación, con una concentración promedio (de todo el Salar), de 0,5 gramos de Li por Litro de salmuera (0,5g Li/L Salm.) y aprovechando los fenómenos naturales, viento y sol de la planicie salada, se programa evaporar, el 40, 50, 60% (o más) de agua, según la concentración o tipo de salmuera. Entonces, en un periodo de 6 a 10 horas de operación **se obtiene una concentración promedio de 8, 10, a 12 g Li/Litro de salmuera por día, en un solo cono.** Con esta base, se puede planificar la operación simultánea de hasta 6 Conos de Evaporación por Punto de Trabajo, crear decenas de puntos y así, generar bosques de conos de Evaporación, para lograr, manipular, el tonelaje requerido de salmuera concentrada, para la alimentación planificada por día, mes y año a la planta de tratamiento químico.

Esta tecnología opera con Energía No Convencional para dar funcionalidad a una pequeña bomba (de 1,3A, 12V, 0,6 Bar y 14 L/min Nom.) por cono. Es decir, se capta Energía Solar empleando un panel para operar hasta en dos puntos de trabajo, de 5 ó 6 conos cada uno, dentro de un ambiente libre, exento de todo tipo de contaminación a la superficie del Salar. Se encuentran en marcha, el desarrollo de varios objetos de captación y aprovechamiento de energía no convencional. Por ejemplo, la implementación de calentadores parabólicos de salmuera y de Árboles Eólicos para incrementar la capacidad de consumo de energía solar para las bombas de los Conos de Evaporación Intensiva.

Es posible lograr valores aún mayores a los rangos anotados del proceso de concentración de salmueras. Todo dependerá de un conocimiento más profundo, de las condiciones naturales del Salar, para aprovechar mejor las condiciones óptimas que nos brindan la radiación solar y las corrientes de aire del Salar, además de optimizar los mecanismos del equipo de Conos y el proceso mismo de Evaporación.

El proyecto está en la posibilidad de optimizar estos parámetros, con costos bajos, manipulando la programación y ciclos de evaporación, controlando los volúmenes de evaporación por hora y por día, incluso en operaciones nocturnas, en periodos de precipitación pluvial e inundaciones que ocurran en el Salar de Uyuni, para obtener la concentración requerida en el Technikum y para evitar pérdidas de Li en los sólidos.



Fig. 6. Conos de Evaporación en Operación Nocturna

3.3. El Technikum

El **Technikum**_(inaugurado en Septiembre de 2010) es una planta Experimental de Producción de Carbonato de Litio, que fue diseñado, construido y puesto en marcha por profesionales, ingenieros investigadores, técnicos mecánicos, electricistas y artesanos potosinos (**una planta, producto made in Potosí**). Esta Planta, instalada en la Ciudadela Universitaria de la UATF, que ya se encuentra en operación y en su fase de ajuste y optimización, aplica los avances y parámetros de la marcha química científicamente ya definida, para ejecutar dos objetivos básicos:

- 1º. **Producir y optimizar la obtención de Carbonato de Litio y sus productos derivados**, desde un par de Kg de Li_2CO_3 por semana (y dentro de poco, dependiendo de las condiciones de ajuste y mayores implementaciones de ingeniería del sistema), hasta 1 ó 2 toneladas por mes. Esta planta no es un laboratorio químico, básico o tradicional; pues, se trata de un prototipo de Planta Piloto, Semi-Industrial o Industrial, cuyos parámetros de tratamiento y resultados de producción constituyen la base técnica científica para ejecutar proyectos de inversión, para la construcción de plantas piloto o plantas industriales, sin correr ningún tipo de riesgo técnico, económico - financiero, infraestructural o de seguridad industrial.
- 2º. **La puesta en marcha, en el Technikum de la UATF, de un centro de formación académica: "El Instituto Internacional de Investigación de Salares - Potosí"**. Su objetivo es el de especializar a profesionales, técnicos superiores, técnicos medios y mano de obra calificada en el manejo productivo y dominio científico de la producción de Carbonato de Litio y los demás subproductos Componentes de la Química Básica, a partir de las salmueras del Salar de Uyuni.



Fig. 7. El Technikum - Planta Experimental de Obtención de Li_2CO_3

3.4. Proceso de Obtención de Carbonato de Litio (Li_2CO_3) y Subproductos

El tratamiento de la salmuera concentrada, obtenida en los Conos de Evaporación Intensiva, para la obtención de Carbonato de Litio y sus subproductos se realiza en el Technikum, la Planta Experimental diseñada para el tratamiento exclusivo de salmueras del Salar de Uyuni.

Para el efecto, el Proyecto UATF – UT. de Freiberg ha establecido un esquema de proceso químico con una característica relevante, de resolver desde el inicio, el problema capital del tratamiento de las salmueras complejas del Salar de Uyuni: **la eliminación del Magnesio, sin pérdidas de Litio**. El manejo del juego de altas y bajas temperaturas en las diferentes fases de agitación y filtrado, así como la adición de reactivos en el proceso, contribuyen a la separación paulatina de los otros elementos y compuestos químicos contenidos en la salmuera.



Fig. 8. Tratamiento Químico de Salmuera concentrada en el Technikum

En el curso de esta marcha química se obtienen también productos derivados, semi terminados, los requeridos por la Industria Química Básica, como: Acido Bórico, Cloruros de K, Na, Mg, Hidróxidos, Sulfatos y carbonatos diversos, los mismos que, con procesos inmediatos de tratamiento químico propios y tradicionalmente conocidos, de enriquecimiento, pueden ser objeto de purificación, hasta alcanzar una calidad competitiva, apta para su comercialización con valor agregado.

Los resultados de los avances científicos de tratamiento de salmueras concentradas en el Technikum hasta aquí logrados, han permitido obtener productos muy satisfactorios: **Carbonato de Litio (Li_2CO_3) con una pureza de 99,5% y con un 80% de Rendimiento, además de subproductos con alta recuperación para obtener un alto grado de pureza.** Este esquema de tratamiento se encuentra actualmente en su fase de ajuste de producción y mayor enriquecimiento del Litio, cuyo objetivo radica en lograr productos de alta calidad competitiva en el mercado internacional del Litio y de los subproductos.

3.5. Registro Nacional e Internacional de Patentes

La UATF, a través de su "Proyecto Salar de Uyuni - UATF", ha logrado, por primera vez y hasta ahora único en toda su historia, dos inventos, que son de actualidad, fortalecida con un enorme valor científico y tecnológico y de mucha importancia para el desarrollo socio – económico de la Región, Potosí y el país. El trabajo conjunto de investigadores de las Universidades de Potosí y Freiberg, ha dado sus frutos, los que justifican y premian plenamente todo sacrificio emprendido y se convierten en una respuesta real a las expectativas de la región. Se han registrado 2 patentes a escala nacional e internacional, que son:

1ª. "Proceso y Equipamiento para la Evaporación de Soluciones de Sales en Conos de Evaporación solar Intensiva". Registrado en:

- a) El Buro de Marcas y Patentes - Munich- República Federal de Alemania – el 28 de enero de 2009
- b) Servicio Nacional de Producción Intelectual" – SENAPI – La Paz–Bolivia el 28 de enero de 2010.

2ª. "Método Para la Eliminación del Magnesio y el Enriquecimiento del Litio Contenidos en Cloruros de Soluciones de Sales". Registrado en:

- c) El Buro de Marcas y Patentes - Munich- República Federal de Alemania, el 05 de mayo de 2010
- d) Servicio Nacional de Producción Intelectual" – SENAPI – La Paz–Bolivia, el 05 de mayo de 2011.

Como es de conocimiento general, todo invento logrado por un ente productivo o de investigaciones debe ser registrado en Bolivia ante el órgano oficial de patentes del o los países que corresponden, **con el objeto de proteger los derechos de autor.** En este caso, las citadas patentes han sido registradas en SENAPI – Bolivia, a nombre de la Universidad Autónoma "Tomas Frías y la UT. de Freiberg.

3.6. Preservación Ambiental

Una característica fundamental del Método UATF - UT.de Freiberg, para el tratamiento de salmueras complejas radica en **que no emplea la marcha química tradicional, el Método Foote**, para la obtención de Carbonato de Litio, como ocurre en Chile, Argentina, Estado Unidos de N.A. o China. Se menciona aquí el Método Foote, solo con fines de comparación con el nuestro y se considere, la gran diferencia que existe entre ambos, frente a nuestra concepción ambiental. Todo Método a emplear debe ajustarse a las características naturales propias del Salar de Uyuni; entre otras, desde el punto de vista técnico o ecológico; pues, esos no están concebidos para evitar muchas formas de depredación del Medio Ambiente, especialmente, para el caso del Salar de Uyuni. Entonces, toda tecnología tradicional:

- **NO se adecua** a las condiciones naturales ni técnicas de explotación, así como en las operaciones de concentración en el Salar de Uyuni, ni en el tratamiento químico.
- Afecta (depreda) enormes extensiones de suelo salino por la construcción y mantenimiento de piscinas de evaporación,

- Tiene un proceso cargado de un elevado consumo de reactivos químicos de adición, ambientalmente depredadores.
- Requiere de grandes volúmenes de Cal viva (Óxido de Calcio) para el empleo como lechadas de cal o encalado (Hidróxido de Calcio: $\text{Ca}(\text{OH})_2$) en varias etapas del proceso.
- Estas lechadas producen enormes volúmenes de descargas de desechos de Sulfato de Calcio ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$), formando gigantes montañas de yeso y sales residuales (tal como ocurre en Atacama - Chile), incluso sobre los mismos salares.

Por tanto, la **aplicación de una tecnología tradicional en el Sudoeste Potosino no es aconsejable**, porque tiene características depredadoras, atentatorias a la preservación del Medio ambiente y la desfiguración, en el caso nuestro, de la belleza del Gran Salar de Uyuni.

En cambio, el método nuestro, ocupa, sin generar daño alguno, pequeñas áreas para el trabajo de los Conos de Evaporación, **se tiene muy bajo consumo de reactivos químicos, donde no se conocen los "encalados o lechadas de cal" y, por tanto, no genera grandes desmontes, montañas de yeso y sales residuales,** sino aquellos volúmenes pequeños de desechos reciclables y reinyectables, ambientalmente amigables al Medio Ambiente.

4. PARTICIPACIÓN DE LAS COMUNIDADES EN EL PROYECTO

Durante los trabajos de exploración en el terreno y luego de haber culminado los estudios de laboratorio y diseño del proceso productivo en Potosí, el equipo de investigadores de la UATF y la UT. de Freiberg se instaló en el Salar de Uyuni, para poner en práctica y desarrollar el proceso operativo de concentración de salmueras, a través de los Conos de Evaporación Intensiva. Para estos trabajos, la UATF buscó y encontró una gran apertura de entendimiento y cooperación de parte de los ciudadanos de las comunidades asentadas en torno al Salar de Uyuni.



Fig. 9 Discusiones y Acuerdos de Apoyo al Proyecto por parte de las Comunidades del Salar de Uyuni

Los investigadores llevaron a cabo conferencias técnicas, explicatorias en Uyuni y en más de 10 comunidades de la región, sobre los objetivos, contenido y resultados de nuestro proyecto y en sendas reuniones con Autoridades Originarias, Políticas y Cívicas, especialmente de la Prov. Daniel Campos (Tahua, Llica, Yonsa, etc.) se llegaron a acuerdos de mutua cooperación y participación de jóvenes ciudadanos de la región, para:

- 1) El desarrollo conjunto de los procesos operativos de concentración de salmueras a través de conos de Evaporación en el Salar de Uyuni
- 2) Transferencia de Tecnología y entrenamiento técnico en concentración y tratamiento de salmueras en el Technikum a los jóvenes trabajadores de las comunidades y
- 3) Elaborar en común acuerdo contratos ocupacionales, para crear fuentes de trabajo rentado y provisión de Salmuera concentrada al Technikum de Potosí.

Es bueno destacar, que los investigadores de Potosí y Freiberg han recibido un valioso apoyo logístico de las citadas Autoridades, especialmente de Tahua y Llica y que han conocido y participado de la técnica el montaje y operación de nuestros Conos de Evaporación. En consecuencia, se han fortalecido los lazos de amistadas y relaciones de trabajo conjunto, tomando en consideración además, que estas acciones constituyen el fiel cumplimiento de la Misión Universitaria de Extensión Social.

5. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA LA PRODUCCIÓN E INVESTIGACIÓN

La formación teórica y práctica de profesionales en el campo técnico y científico del aprovechamiento de los Recursos Evaporíticos es una Misión de la Universidad y es uno de los objetivos fundamentales del "Proyecto Salar de Uyuni – UATF". Para este fin se encuentra en proceso de tratamiento de las bases de organización para la implementación del "**Instituto Internacional de Investigaciones de Salares – Potosí**" (III.S. Potosí). Este Instituto tiene ya el diseño básico de su estructura, programa y contenido académico para la formación de profesionales de pre- y postgrado académico como: técnicos medios, superiores, Diplomados, Maestría y Doctorado, en materia de sales y salmueras y en Ingeniería de Producción con valor agregado, no solo de productos derivados del Carbonato de Litio, sino de todas los procesos de industrialización de los componentes emergentes de los Recurso Evaporíticos.

El Proceso Enseñanza – Aprendizaje, en lo teórico y práctico será desarrollado, tanto en el Salar de Uyuni, como fundamentalmente, en el Technikum de la UATF, donde se impartirá la enseñanza básica, teórica, práctica y la ejecución de los trabajos de investigación. Su implementación va a recibir el soporte académico – científico y logístico de la UT. de Freiberg y de organismos estatales de Intercambio Académicos del Gobierno de la R. F. de Alemania.

6. RECURSOS ECONÓMICOS Y COSTOS

Debido a la ausencia de un apoyo económico por parte del Gobierno Boliviano u otros organismos de fomento nacionales, los fondos para los gastos del proyecto, para la implementación y desarrollo de las diferentes Fases del Proyecto, han sido asumidos por las Universidades participantes en el mismo y que provienen de sus propios presupuestos, netamente universitarios. Los recursos económicos empleados en este proyecto son el resultado del suscrito "Convenio de Mutua Cooperación Académica y Científica" y del esfuerzo económico compartido que han realizado ambas Universidades comprometidas en el estudio. El capital hasta ahora dispuesto para el Proyecto tiene un costo estimativo, que oscila entre 160.000 a 200.000 \$us.

El carácter de la ejecución del "Proyecto Salar de Uyuni – UATF" es enteramente de investigación científica y tecnológica; es decir, es un proyecto no orientado a la explotación (masiva) de sales y salmueras del Salar de Uyuni. Por tanto, los recursos que requiere el mismo no son precisamente de inversión, en el sentido de la generación de utilidades económicas de lucro por su producción, sino de inversión para la generación de conocimiento científico y tecnológico, de alto beneficio para el país y la región.

En todo caso, son recursos económicos que no permiten hacer grandes emprendimientos en materia de investigación científica y menos abarcar, hasta ahora, una ampliación técnica, a través de un incremento de equipos, máquinas e instrumentos, materiales e insumos de laboratorio y operación en las plantas, tales que permitan lograr utilidades de producción, que en lo mínimo, paguen los costos del proyecto.

REFERENCIAS:

1. UATF – UMSA: “Proyecto de Obtención de Carbonato de Litio”; Comisión Regional y Nacional Minero Metalúrgica de la UATF, UMSA - CEUB – Universidad Boliviana – 1992; Bibliotecas Universitarias de la UATF y la UMSA
2. ORSTOM “Los Salares del Altiplano Boliviano – Estudio Económico”; Risacher F., Ballivian O. -1981; Publicaciones en Francia, Bolivia, otros.
3. VOIGT, WOLFGANG: Estudios Varios sobre Sales y Salmueras; TU. Bergakademie Freiberg – Alemania; 2005 – 2008
4. VOIGT, W., CLAROS, J.J. RIZZO, M. H. “Planta Piloto de Litio para COMIBOL”; Propuesta de la UT. de Freiberg u la UATF – Potosí, entregada al gobierno Boliviano; Marzo 2009; Arch. Proy. UATF.
CLAROS, J. JAIME T. “EL Litio – Base del Desarrollo Industrial de Potosí y Bolivia”; Informes, Conferencias Nacionales e Internacionales: UATF, UMSA, UTO, UMSS, Freiberg – Alemania, Delg. UNESCO, COMCIPO, LIDEMA – SOPE – Potosí, CODEPANAL – La Paz
5. CLAROS, J. JAIME T. “Estrategias de Industrialización y Aprovechamiento de los RR. NN. Del Salar de Uyuni”; Diversas publicaciones, conferencias: BHT – Alemania, Simposio Mundial del Litio - La Paz, SIB Potosí, Congreso Nacional Metalurgia – Potosí – 2010; Congreso Nacional de Metalurgia La Paz - 2011, Poder Total, Plataforma, otros.
6. UATF – POTOSI: Tesis, Ensayos, Proyectos sobre el Salar de Uyuni; Varias publicaciones de Docentes y Estudiantes; 1984 - 2009

Potosí, febrero de 2012

Dr.-Ing. Jaime T. Claros Jiménez
RESPONSABLE DEL PROYECTO
SALARDE UYUNI - UATF