

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
QUÍMICA INDUSTRIAL



# "OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE YODACIÓN EN LA SAL DE MESA"

TRABAJO DE APLICACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIATURA  
POSTULANTE: ROSALES FLORES MARLENE

LA PAZ – BOLIVIA

2016

ÍNDICE

## **INTRODUCCIÓN**

### **1. CAPITULO 1**

- 1.1. Antecedentes
- 1.2. Planteamiento del problema
- 1.3. Objetivos
  - 1.3.1. Objetivo general
  - 1.3.2. Objetivos específicos
- 1.4. Justificación del estudio

### **2. CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO**

- 2.1. Halita – ClNa
- 2.2. Yacimientos de sal
  - 2.2.1. Sal marina
  - 2.2.2. Sal gema
  - 2.2.3. Salares
  - 2.2.4. Vertientes de salmuera
- 2.3. Salares en Bolivia
  - 2.3.1. Salar de Uyuni
- 2.4. Fortificación de la sal
  - 2.4.1. Micronutriente yodo
  - 2.4.2. Yodo asociado a la salud
  - 2.4.3. Ingesta dietética recomendada
  - 2.4.4. Problemas en la deficiencia de yodo
  - 2.4.5. Exceso de yodo
  - 2.4.6. Fortificante yodato de potasio o yoduro de potasio
- 2.5. Procesos industriales de yodación de la sal
  - 2.5.1. Método de goteo
  - 2.5.2. Método de aspersion
  - 2.5.3. Método en seco

### **3. CAPITULO 3 MARCO METODOLÓGICO**

- 3.1. Metodología del procedimiento
  - 3.1.1. Cristalización de la sal
  - 3.1.2. Cuantificación de yodo en la sal según norma boliviana 328001
- 3.2. Diagrama de proceso
  - 3.2.1. Cristalización de la sal
  - 3.2.2. Estandarización del Tiosulfato de sodio

- 3.2.3. Cuantificación del yodo
- 3.3. Diagrama de flujo del equipo
- 3.4. Balamce de masa
- 3.5. Diagrama del equipo
- 3.6. Descripción del desarrollo por etapas
  - 3.6.1. Cristalización de la sal
  - 3.6.2. Determinación de yodo por método volumétrico

#### **4. CAPÍTULO 4 PARTE EXPERIMENTAL**

- 4.1. Procedimiento en las condiciones actuales
- 4.2. Procedimiento para optimizar el proceso de yodación en la sal
- 4.3. Diferencias entre los dos procedimientos

#### **5. CAPITULO 5 RESULTADOS**

- 5.1. Resultados de la cristalización de la sal
- 5.2. Resultados de la homogenización del yodo en la sal

#### **6. CAPITULO 6 CONCLUSIONES**

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a mi familia que siempre estuvo apoyándome, en todo momento impulsándome en la conclusión de mi trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a dios por permitirme continuar con todos mis proyectos día a día.

A mi papa Narciso Rosales Calle por ser un padre ejemplar y por brindarme estudios, a mi mama Primitiva Flores Ajata por ser una madre comprensiva, por estar siempre preocupándose por mi bienestar.

A mi compañero de vida Edyverto Choque por estar a mi lado impulsándome en las metas que me propongo.

A los docentes de la carrera de Química Industrial quienes me forjaron como estudiante para llegar a ser una profesional.

A mis tribunales; al Lic. Osvaldo Valenzuela quien me guio en el proyecto a pesar de su escaso tiempo siempre preocupándose por los estudiantes de la carrera. Al Lic. Mario Hilaquita por tomarse el tiempo de ser tribunal revisor.

Al Lic. Edmundo Ovando por la paciencia que demuestra en la entrega de materiales y por su colaboración en las prácticas.

## INTRODUCCIÓN

El consumo de sal fortifica principalmente con yodo es una de las tareas principales que tiene todo gobierno velando por la mejor salud de la población.

La deficiencia de yodo en la población es uno de los mayores problemas de Salud pública en el mundo, con mayor impacto en mujeres embarazadas, niñas y niños, ya que sus devastadoras consecuencias son el incremento de la mortalidad neonatal, perinatal, el retardo mental, el bocio y el cretinismo.

Algunas empresas salineras que se encuentran en regiones cerca del salar de Uyuni en Bolivia que proveen sal realizan la yodación en seco, al momento de transportar la sal el yodo se separa de la sal debido a sus densidades.

De ahí que entra el interés en que el yodo se encuentre de forma homogénea en toda la sal, para cumplir con esto se le debe realizar la yodación cuando la sal se encuentre en disolución para luego poder cristalizar. Agregando el yodato de potasio en disolución en la sal la homogenización será uniforme.

Una vez cristalizada la sal junto con el yodato de potasio se tomara muestras de distintos lugares al azar y de ahí se analizara la cantidad de yodo presente en dichas muestras

## **CAPITULO 1**

### **1.1. ANTECEDENTES**

De acuerdo con el ministerio de salud solo el 43 % de las empresas realizan la yodación de la sal y verificando la cantidad de yodo presente existe una gran variación de este.

Esta variación se debe a varios factores ya sea por mal almacenaje de la sal, el tiempo que tiene esta y por supuesto que la yodación se la realiza erróneamente.

El consumo de sal en el país es de entre 5 a 15 [g] por persona y este es un buen vehículo para incorporar el yodo para prevenir enfermedades.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Bolivia existen muchas empresas salineras que realizan el proceso de yodación de la sal por vía seca.

Existe una diferencia de densidades entre el yodato de potasio y el cloruro de sodio lo que hace que el yodato de potasio se separe de la sal ya sea por el transporte de esta sal o por el simple manipuleo.

El cloruro de sodio o la sal común como se la conoce comercialmente, debe tener según norma boliviana una cantidad dentro 40 a 80 ppm de yodo para prevenir enfermedades como son el bocio o el cretinismo.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Optimizar el proceso de yodación en la sal de mesa.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

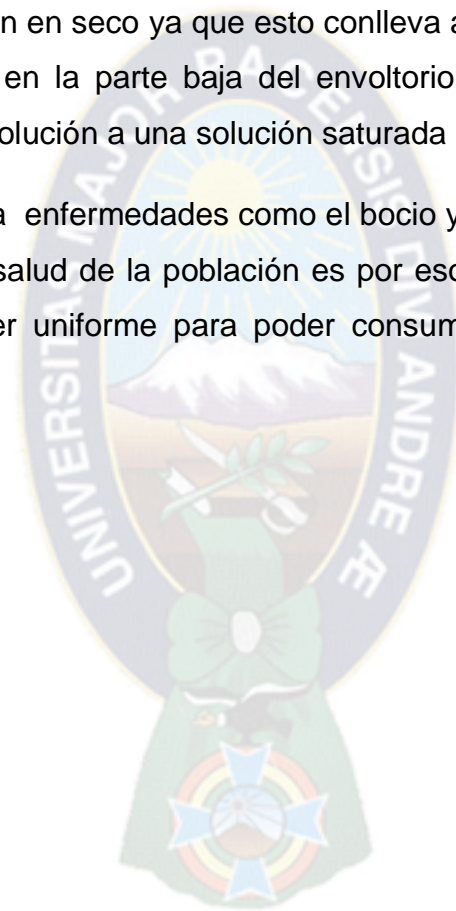
- ✓ Agregar yodato de potasio a la sal en disolución acuosa saturada.
- ✓ Describir procedimientos de yodación de la sal.

- ✓ Realizar la comparación el método de adición de yodo por vía seca y por el método de adición en solución acuosa saturada.
- ✓ Realizar el análisis de yodo en la sal cristalizada realizando previo muestreo al azar.

#### 1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Se eligió estudiar la cristalización de la sal ya que la mayoría de las empresas realizan una cristalización en seco ya que esto conlleva a que el yodato se separe de la sal y solo se quede en la parte baja del envoltorio, es necesario incorporar el yodato de potasio en disolución a una solución saturada de cloruro de sodio .

La falta de yodo conlleva enfermedades como el bocio y el cretinismo y el exceso de yodo también afecta la salud de la población es por eso que la homogenización del yodo en la sal debe ser uniforme para poder consumir la cantidad de yodo que estipula la norma.





## CAPITULO 2

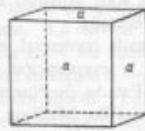
### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. HALITA – $\text{ClNa}$ SAL GEMA, SAL COMÚN

**Cristalografía.** Cubico hexaquisooctahedrico. Habito cubico (Fig 1). Cristales en forma de tolva (Fig 2). Son muy pocos raros con otras formas. En cristales o en masas granulares, con exfoliación cubica conocida como sal gema.

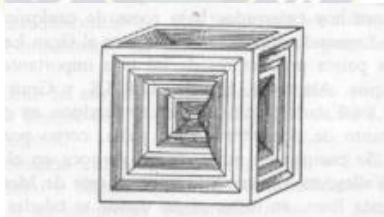
También en masa granular o compacto.

**Figura 1 habito cúbico de la halita**



Fuente: manual de mineralogía - Danna

**Figura 2 cristales de la halita**



Fuente: manual de mineralogía - Danna

**Estructura.** La estructura cristalina de la halita fue la primera determinada con auxilio de los rayos X, y es ejemplo de gran número de compuestos con relación de radio comprendida entre  $0.41\text{A}^\circ$  y  $0.73\text{A}^\circ$ . Es también ejemplo clásico de un compuesto con enlaces iónicos.

**Propiedades físicas.** Exfoliación cubica perfecta. Brillo transparente a translucido, Incoloro y blanco, puede tener tonalidades amarillas, rojas, azuladas y púrpura en ejemplares impuros. Gusto salado. Diatérmico.

**Composición.** Cloruro sódico  $\text{ClNa}$   $\text{Na}=39.3\%$   $\text{Cl}=60.7\%$ . Corrientemente con impurezas tales como sulfato de magnesio y calcio, y cloruro magnésico.

**Diagnóstico.** Caracterizada por su exfoliación cubica y su sabor, se distingue de la silvina por la llama amarillan y por su sabor menos amargo.

**Yacimiento.** La halita es un mineral muy corriente, aparece en amplias capas y masa irregulares, como un precipitado de las aguas marinas. Asociado a yeso, silvina anhidrita, calcita, arcilla y arena. También disuelto en las aguas de los manantiales, de los nuevos mares salados y de los océanos.

**Empleo.** La halita se emplea principalmente en la industria química como fuente de sodio y de cloro, figurando entre los productos más importantes fabricados el carbonato y el bicarbonato sódicos, sosa caustica y carbonatos sódicos modificados para el lavado la industria textil, maderas y curtidos. A partir de la halita se obtiene sodio metálico, ácido clorhídrico y cloro. La sal emplea en grandes cantidades en su estado natural para el curtido de pieles, alimentación del ganado y como herbicida. Además de su uso como condimento se utiliza en la preparación y conservación de alimentos de diferentes clases, tales como manteca de vaca, queso, pescado y carnes, como refrigerante en los vagones frigoríficos y para preparar helados. La sal tiene muchas aplicaciones, pero las reseñas son las principales y dan idea de su importancia en la actividad humana.

**Figura 3 Cristales de halita**



Fuente: Elaboración propia

## 2.2. YACIMIENTOS DE SAL

La sal común se encuentra presente en diversas formas, las que serán descritas a continuación.

### 2.2.1. □SAL MARINA

El agua de mar constituye una reserva natural y un depósito inagotable de sal, contiene aproximadamente 30 [kg] de sal por metro cúbico, la obtención de este producto se realiza a través de evaporación solar del agua salada por medio de salinas artificiales.

El proceso de obtención empieza por recoger agua de mar de una serie de estanques de concentración donde se precipitan el sulfato de calcio primeramente.

Para obtener el cloruro de sodio casi puro, el agua de mar se debe extraer mediante un proceso continuo de evaporación solar y drenaje de agua madre antes de que pueda precipitarse sales de magnesio. Algunas sales de magnesio permanecen en forma de impurezas superficiales las que puedan ser reducidas lavando la sal con agua de mar o exponiéndolas a la lluvia.

Actualmente se purifica separando los iones por tamaño mediante tamiz molecular obteniendo un agua comparada con la de ósmosis inversa de conductividad  $< 0.2 \mu\text{s} \square \text{cm}$ .

La calidad de la sal obtenida dependerá de la medida en que se consiga eliminar las impurezas que siempre están presentes en el producto.

El proceso de la obtención de sal a partir del agua de mar, se inicia con el ingreso de agua de mar por la succión de bombas a los denominados soladores o evaporadores que ocupan un 50% del área donde se obtiene la sal, posteriormente pasa a los concentradores y de ahí a las nodrizas estas dos áreas ocupan un 40% del total y es donde se elimina el carbonato de calcio y sulfato de calcio, por último pasa a los cristalizadores donde se obtiene la sal y los residuos son eliminados por contener magnesio principalmente y otros como potasio y bromo para el paso del agua de otra área se controla la densidad de la misma.

### **2.2.2. SAL GEMA**

La sal presente en yacimientos subterráneos es denominada sal gema, comúnmente llamada sal de piedra, se la puede encontrar con diferentes coloraciones dependiendo del contenido de sus aleaciones.

La producción de este tipo de sal, se la puede obtener a través de la explotación en canteras llamada también a cielo abierto o en mina. La sal gema es un tipo de depósito de sal provenientes de lagos salados desecados, ya sean expuestos naturalmente o recubiertos por una capa de tierra. Los depósitos subterráneos de sal pueden ser explotados a través de socavones o inyectando agua para producir salmuera, de la que se extraerá la sal por evaporación térmica.

### **2.2.3. SALARES**

Los salares sobre cuyo origen se discutió bastante, son considerados como el resultado de la evaporación de mares o lagos anteriores en épocas remotas que dieron origen a grandes planicies como yacimientos de sal cristalizada.

Una muestra de es el salar de Uyuni en potosí Bolivia con una extensión de 9000 km<sup>2</sup> útiles, otros más pequeños son el salar de Coipasa en Bolivia, el de atacama en Chile y el de hombre muerto en el norte de Argentina.

Los salares de Uyuni y de Coipasa son consecuencia de la sequía del lago tauca y una precipitación química que trae consigo la deposición de sales, en el fondo de la cuenca altiplánica.

### **2.2.4. VERTIENTES DE SALMUERA**

Existen otras aguas naturales de las ya mencionadas que contienen como elemento principales el cloruro de sodio o sal común en proporciones mayores a las aguas de mar, estas se presentan en la corteza de la tierra a través de las vertientes naturales o extraídas de pozos, la salmuera proveniente de estas es conducida mediante canales rudimentarios a pequeños estanques de tamaños y formas irregulares, los que son constituidos en forma artesanal, donde la salmuera es expuesta a la evaporación solar hasta la formación de los cristales de la sal.

En Bolivia existen varios yacimientos de sal de diferentes tipos los más importantes son mencionados en el cuadro.

CUADRO N°1  
SALARES EN BOLIVIA

NOMBRE DEL SALAR	LOCALIZACIÓN	TIPO DE SALAR
Tarquiamaya	La Paz	Vertiente de salmuera
Jayuma Ilallagua	La Paz	Vertiente de salmuera
Caquingora	La Paz	Vertiente de salmuera
Coipasa	Oruro	salar
Uyuni	Potosí	Salar
Entrerrios	Tarija	Sal de roca

Fuente: Producción de sal para consumo humano – José Antonio Mariscal Uzqueda.

### 2.1.1. SALAR DE UYUNI

En el salar de Uyuni el método tradicional de extracción de sal consiste en formar pequeñas pilas, para que se evapore el agua y facilitar el transporte.

El salar de Uyuni, como se estima, contiene 10 mil millones de toneladas de sal, de la cual 25 000 toneladas son extraídas cada año, además cuenta con 140 millones de toneladas de litio, según datos oficiales de la estatal Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), convirtiéndose en la más grande reserva a nivel mundial de este mineral. <sup>1</sup> Un informe del Servicio Geológico de Estados Unidos señala que en el Salar de Uyuni hay 6,5 millones de toneladas de litio. Todos los mineros que trabajan en el salar pertenecen a la Cooperativa de Colchani. Cada noviembre, el salar de Uyuni es también el lugar de cría de tres especies de flamencos sudamericanos el chileno, de James y andinos. Este es también un destino significativamente turístico. Los toques de luz que aparecen en la imagen, sobre el fondo blanco, incluyen un hotel construido íntegramente de sal y varias islas. Como el terreno del salar es tan plano sirve como una ruta de transporte a través del altiplano boliviano.

<sup>1</sup> Bolivia Destinos (2011) "Salar de Uyuni "en español

**Figura 4 Salar de Uyuni**



Fuente: <http://www.salardeuyuni.com>

### **2.3. FORTIFICACIÓN DE LA SAL**

El comité de expertos de la organización mundial de salud (OMS) y la organización de naciones unidas para la agricultura y la alimentación en nutrición (FAO) consideran que el termino fortificación es el más apropiado para denominar el proceso de adición de macronutrientes y micronutrientes a los alimentos de consumo general, con el fin de mejorar la calidad nutricional en la alimentación de un grupo, comunidad o población. Este procedimiento consiste en la adición de los micronutrientes carenciales en cantidades bajas pero constantes.

#### **2.3.1. MICRONUTRIENTE YODO**

El yodo se encuentra presente en gran parte de la tierra, motivo por el cual los alimentos que se producen no contienen este elemento, para evitar los desórdenes producidas por las deficiencias de yodo, debe suministrarse a través de otro agente para su distribución diaria en cantidades que cubran los requerimientos del cuerpo humano y animal, estos medios con el agua el aceite yodado y sal.

**Figura 5 Yodo en forma solido**



Fuente: <http://www.usos del yodo.com>

**Figura 6 yodo en forma de vapor**



Fuente: <http://www.usos del yodo.com>

### **2.3.2. YODO ASOCIADO A LA SALUD**

El yodo es un elemento químico esencial. La glándula tiroides fabrica las hormonas tiroxina y triyodotironina, que contienen yodo. El déficit en yodo produce bocio.

Considerando como un mineral esencial para la vida poseemos 50 miligramos en todo el cuerpo y diez de ellos se encuentran en la glándula tiroides. Se almacena en la tiroides, riñones suprarrenales, y órganos sexuales. Dentro del organismo se une a un aminoácido llamado tirosina y forma la hormona tiroxina imprescindible en más de 100 procesos como ser:

Producción de energía, crecimiento reproducción, funcionamiento del sistema nervioso, entre otros. Según la OMS/UNICEF/ ICCDD <sup>2</sup>

En los seres humanos el yodo funciona como un componente esencial de la hormona de la glándula tiroides, glándula endocrina situada en la parte inferior del cuello. Las hormonas de la tiroides de las cuales es más relevante es la tiroxina son importantes para la regulación del metabolismo.

En los niños apoyan al crecimiento y desarrollo normal incluso al desarrollo mental. El yodo se absorbe del intestino como yoduro y el exceso se excreta en la orina. La glándula tiroides de una persona adulta que consume un nivel adecuado de yodo capta aproximadamente 60[ $\mu$ g] de yodo por día para producir cantidades normales de hormona tiroidea.

### **2.3.3. INGESTA DIETÉTICA RECOMENDADA**

La Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) recomienda 150 microgramos de yodo por día tanto para hombres como mujeres. Esto es necesario para la producción propia de hormonas tiroideas.

### **2.3.4. PROBLEMAS EN LA DEFICIENCIA DE YODO**

La ingesta insuficiente de yodo se manifiesta a través de una serie de problemas muy variados los llamados trastornos por deficiencia de yodo cuyas características dependerán de la intensidad del déficit y del momento de la vida en que ocurra.

En los casos severos de deficiencia de yodo, suele producirse un agrandamiento de la glándula tiroides, mayormente conocido como bocio. La carencia de yodo durante el embarazo puede provocar aborto y la muerte del recién nacido en los niños pequeños puede causar retardo mental sordera y retraso en el crecimiento.

---

<sup>2</sup> Indicators for Assessing Iodine Deficiency Disorders and Their Control Through Salt Iodization, Micronutrient Series, 1994 WHO UNICEF, ICCIDD



La deficiencia leve o moderada aun cuando no produzca un agrandamiento de la glándula tiroides, altera su funcionamiento, disminuye la capacidad de aprendizaje y el rendimiento escolar de niños y adolescentes.

- ✓ **Bocio:** El bocio es el aumento de tamaño de la glándula tiroides. Se traduce externamente por una tumoración en la parte antero-inferior del cuello justo debajo de la laringe. Existen varios tipos desde el punto de vista morfológico: bocio difuso, uninodular o multinodular. Según su tamaño se divide en los siguientes estados:
  - Estado 1: detectable a la palpación.
  - Estado 2: bocio palpable y visible con el cuello en hiperextensión.
  - Estado 3: visible con el cuello en posición normal.
  - Estado 4: bocio visible a distancia
  
- ✓ **Cretenismo:** condición asociada a la deficiencia de yodo. Existen dos tipos de cretenismo: Cretenismo neurológico, en el que se observa retardo mental, retardo del crecimiento corporal, rigidez muscular, convulsiones y sordera. Cretenismo Mixedematoso: (puede observarse en zonas africanas), se caracteriza por enanismo, poco desarrollo mental, mixedema y estrabismo.

Los desórdenes por deficiencia de yodo se presenta en zonas montañosas y en áreas sometidas a erosión e inundaciones (como la de Cordillera de Los Andes, La Sierra Madre, los Valle y la Amazonia) en donde la tierra no provee yodo. Por consecuencia el Contenido de yodo de los alimentos y el agua de estas zonas bajo y no alcanza a satisfacer los requerimientos diarios. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la deficiencia de yodo es una de las principales causas de la discapacidad humana en el mundo y afecta a unos 740 millones de personas.

La ingesta insuficiente de yodo se manifiesta a través de una serie de problemas muy variados los llamados “Trastornos por deficiencia de yodo”, cuyas características dependerán de la intensidad y del momento de la vida en que ocurra. <sup>3</sup>

### **2.3.5. EXCESO DE YODO**

Puede deberse a una alteración inmunológica que conduce a una producción excesiva de hormonas tiroideas, las cuales no permiten el funcionamiento fisiológico de la glándula tiroides, o también por un consumo excesivo de yodo a través de alimentos ricos en yodo como las algas o suplementos dietéticos utilizados para promover la pérdida de peso que son altos en yodo. Los síntomas incluyen: aumento de la tasa metabólica basal, apetito voraz, sed, pérdida de peso, debilidad general, intolerancia al calor, nerviosismo, problemas cardíacos entre otros.

### **2.3.6. FORTIFICANTE YODATO DE POTASIO O YODURO DE POTASIO**

La fortificación de sal con yodo puede efectuarse principalmente con:

- Yoduro de potasio.
- Yodato de potasio.

El yoduro de potasio es muy empleado para la sal refinada. La facilidad de su disolución con agua permite preparar las soluciones rápidamente y su distribución por los métodos en húmedo son óptimos.

Las desventajas de yodar con este compuesto se presentan si la sal a yodar no está bien seca y suelta durante la producción, si queda expuesta a una ventilación excesiva o a una atmósfera húmeda, si queda expuesta al sol si se somete a calor o contiene o impurezas.

Es bastante difícil evitar la totalidad de las condiciones adversas que inciden en la pérdida del yodo cuando se utiliza este compuesto, sin embargo, se puede reducir al

---

<sup>3</sup> Fondo de Naciones Unidas para la infancia UNICEF “Retraso mental debido al déficit de yodo en la alimentación” consultado en internet Unicef.es

mínimo los efectos adversos del uso del yoduro de potasio añadiendo agentes estabilizantes en cantidades no mayores a 1[g] en 1 [kg] los estabilizadores más empleados son el tiosulfato de sodio, hidróxido de calcio, pero puede emplearse otros como el carbonato de magnesio, el carbonato de sodio, el bicarbonato de sodio el carbonato de calcio.

El contenido de yodo en el yoduro de potasio es aproximadamente 76.4%

El yodato de potasio es el compuesto más estable, raramente afectado por las impurezas, cuya baja solubilidad en el agua le confiere una buena estabilidad, tiene muy poca tendencia a emigrar y por lo tanto su eliminación en la sal yodada no es fácil.

Se usa este compuesto cuando se utiliza el método en seco para la yodación, pero también es posible utilizarlo con métodos via húmeda, disolviendo el yodo de potasio en agua.

El contenido de yodo en el yodato de potasio es de 59.3%

## **2.4. PROCESOS INDUSTRIALES DE YODACIÓN DE LA SAL**

La fortificación de sal con yodo puede realizarse por la mezcla húmeda o seca. La mezcla húmeda puede efectuarse por goteo o aspersión, según el tipo de sal.

### **2.4.1. MÉTODO DE GOTEO**

Es el más sencillo y más barato, resulta adecuado para la sal gruesa, con partículas uniformes de tamaño máximo y con humedad de 4% a 5%. La humedad facilita la dispersión de la solución que puede ser de agua yodo o fluor.

La sal debe ser alimentada en forma continua y en cantidad constante por algún medio mecanizado, pudiendo ser este una cinta transportada o un alimentador con vibración.

La solución de agua con aditivo a agregar, podrá ser reparada con diferentes concentraciones dependiendo de la maquinaria con que se cuente, de la cantidad de sal a ser yodada por hora y de la humedad de la sal que se está procesando.

Es necesario contar con un equipo dosificador que no es otra cosa que un envase donde se deposita la solución que es alimentada a la sal por la gravedad y controlado el flujo por un mecanismo que permita su caída en forma continua.

Luego de la dosificación de sal, se debe mezclar para obtener una homogeneidad, pudiéndose obtener esto a través de un tornillo transportador con ciertas características especiales, que permita a las sales una mayor agitación de manera de obtener un mejor mezclado.

**Figura 7 Dosificador para el método de goteo**



Fuente: Producción de sal para consumo

José Antonio Mariscal Uzqueda

En la imagen se puede observar dosificadores utilizados para el método de goteo en las pequeñas industrias, puesto que cuando se usa este método de yodación en industrias grandes el control de goteo es automático.

#### **2.4.2. MÉTODO DE ASPERSIÓN**

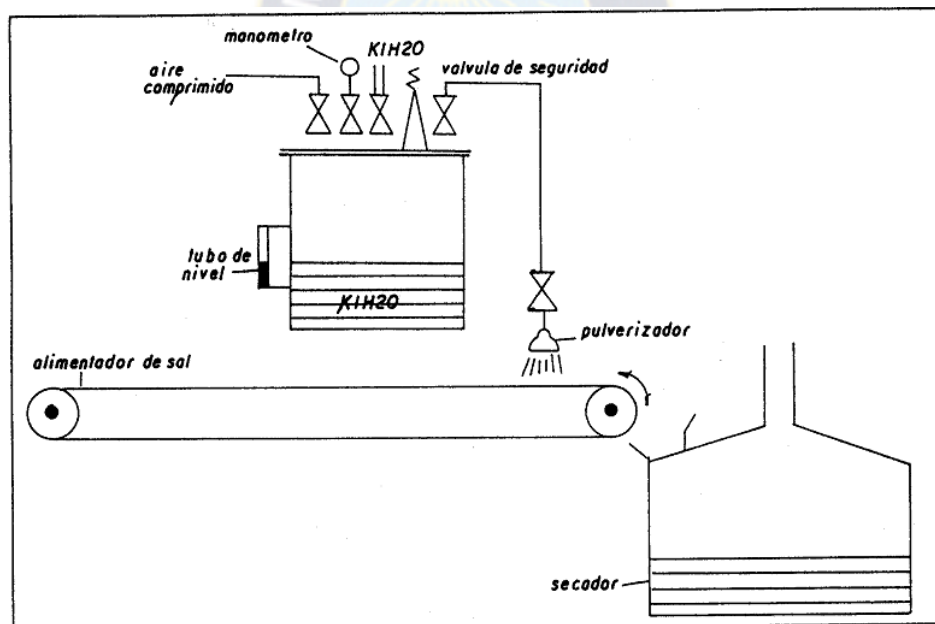
El método por aspersion es el sistema que se asemeja a la lluvia cubriendo la superficie a regar.

El agua para que se disperse en gotas de distinto tamaño debe salir a presión por orificios y boquillas (aspersores), por ello también el sistema genéricamente se denomina riego presurizado.

Para la aspersión de soluciones con yodo, la sal debe ser alimentada en forma continua y en cantidades constantes para la dosificación uniforme. La solución preparada con el micronutriente con el que se enriquecerá la sal, es pulverizada a presión a través de boquillas de acero inoxidable.

Para que la presión sea constante se requiere de un equipo que tenga compresión de aire, el que proporciona la presión adecuada para empujar la solución hacia la sal.

**Figura 8 Equipo de aspersión**



Fuente: Producción de sal para consumo

José Antonio Mariscal Uzqueda

Posteriormente a la dosificación por aspersión, se realiza la operación homogenizado con una mezcladora que puede ser un tornillo transportador con velocidades de rotación baja, para que la sal sea removida el mayor tiempo posible.

El método es más eficiente cuando se trabaja con sal gruesa y que tenga humedades no mayor a 2%.

### 2.4.3. MÉTODO EN SECO

Este tratamiento de dosificación de sal, requiere de la sal bien seca, con una granulometría uniforme y de adictivos a agregar en forma de cristales secos a través de una pre mezcla.

Como son pequeñas las cantidades de yodato de potasio o fluoruro de sodio que se añade a la sal, es necesario preparar una pre mezcla, la cual debe ser bien homogeneizada y contener además del yodato de potasio y fluoruro de sodio, sal bien seca con una granulometría que permita fluir con facilidad, la pre mezcla puede contener además anti aglomerantes o anti humectantes.

#### **Preparación de la pre mezcla**

Cuando se añade a la sal cualquier micronutriente por medio del método en seco, es necesario inicialmente preparar una pre mezcla, el motivo radica en la diferencia enorme que existe entre las cantidades de sal con el aditivo que se agrega.

Una mezcla ideal de los polvos puede producirse si las partículas son el mismo tamaño y masa en la práctica estos requisitos son muy difíciles de llenar, por esta razón es importante tener mucho cuidado en su preparación, debido a que si esta no se encuentra lo más homogénea posible, los resultados de la sal a la que se añadirá la pre mezcla no serán los esperados.

Las grandes plantas procesadoras de sal, para la preparación de la remezcla tienen una mezcladora pequeña, exclusiva para esta operación a diferencia de estas, las plantas pequeñas realizan esta operación manualmente, por tal razón deben prestar mucha atención en su elaboración de manera de obtener un producto con buena homogeneidad.

La pre mezcla está compuesta de:

**SAL + ADITIVO QUE SE AGREGA**

El aditivo puede ser cualquier compuesto con yodo o fluor, de los mencionados anteriormente para el uso en dosificaciones por el método seco.

La sal con la que se prepara la pre mezcla, debe cumplir principalmente de características que son:

- Está completamente seca
- Estar tamizada, con un grano que permita deslizarse fácilmente utilizando mallas que estén entre N° 30 – 60 con diámetros de 600 – 250[ $\mu\text{m}$ ]

Cuando la pre mezcla es preparada manualmente, es necesario elaborarla en varias etapas que serán explicadas a continuación:

1. El 10% de la partida de la sal con la que se prepara normalmente la pre mezcla con todo el aditivo que se agrega.
2. La mezcla elaborada en la primera etapa más el resto de la sal con la que se elabora la partida de la pre mezcla.

Es importante tomar en cuenta el tiempo requerido para esta operación, además se debe encargar de la preparación a una persona que se la adiestre para este trabajo.

Una de las formas para su mezclado es el uso de una bolsa grande de polietileno, donde se introduce las partes a mezclar y se agita con las dos manos el tiempo requerido será determinación por experiencia.

### **Preparación de la solución**

Cuando se utiliza cualquier método por la vía húmeda, sea este el de goteo o aspersión se debe preparar una solución que contenga:

AGUA + ADITIVO QUE SE AGREGA

El agua debe ser potable y el aditivo debe tener una característica de una fácil disolución en el agua para su homogenizado se utiliza un agitador.

La preparación de las soluciones son mucho más fáciles de obtener que las pre mezclas dos o más sólidos granulados.

Para la preparación de las soluciones se utiliza agitadores principalmente de tipo rotatorio, en un órgano giratorio al que llamamos rodete que es impulsado por un eje.

Las soluciones de yodo a preparar pueden ser yodato de potasio o yoduro de potasio, siendo esta la última la más fácil de preparar por la ventaja que tiene el yoduro de potasio de diluirse en el agua.

El yodato de potasio pese a ser un compuesto con baja solubilidad, es posible diluirlo si el agua caliente, por ejemplo si el agua es 60°C, la solubilidad es de 185 gramos por litro, eso significa que en 5.4 litros de agua se puede disolver 1 [kg]. De yodato de potasio.

La concentración de la solución debe ser elaborada en función a los siguientes aspectos:

- La cantidad de sal alimentada al molino o mezcladora (capacidad de producción de la máquina).
- En caso de la yodación se realice en el molino, la humedad tiene que ser la adecuada para que trabaje la máquina y se obtenga productos con una buena dosificación.
  - Si es muy alta, la sal demasiado húmeda forma una costra en la cascara del molino impidiendo la salida de producto del molino.
  - Si es muy baja, la solución no llega a distribuirse en toda la sal que se alimenta a la máquina.



### 3. MARCO METODOLÓGICO

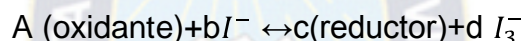
#### 3.1. METODOLOGÍA DEL PROCEDIMIENTO

##### 3.1.1. CRISTALIZACIÓN DE LA SAL

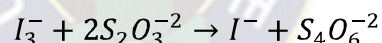
La metodología de este proceso implica yodar la sal en plena solución, después de dicho proceso realizar una nueva cristalización y así el yodato de potasio se encontrara presente de forma homogénea en toda la sal.

##### 3.1.2. CUANTIFICACIÓN DE YODO EN LA SAL SEGÚN NORMA BOLIVIANA 328001

Se basa en hacer reaccionar el oxidante cuya concentración deseamos conocer, con un exceso de yoduro generándose una cantidad estequiometria de triyoduro según la reacción previa.

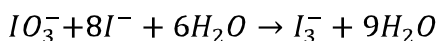


Este triyoduro es posteriormente valorado con tiosulfato sodico de concentración exactamente conocida. Ambas especies reaccionan de acuerdo con la siguiente reacción volumétrica:



El reactivo valorante es el tiosulfato de sodio pentahidratado ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) y a a partir de la estequiometria de las reacciones volumétricas podremos conocer la cantidad de oxidación inicial.

La disolución del tiosulfato de sodio se prepara de concentración normalizada frente a yodo o triyoduro, para este método generamos una cantidad conocida de triyoduro por reacción con solución con un contenido de yodato potásico con exceso de yoduro.

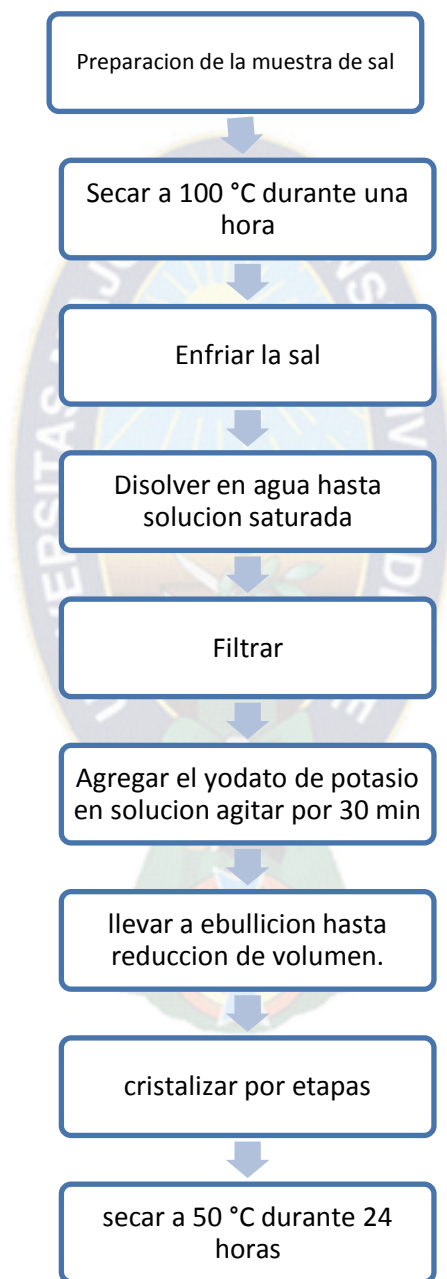


El triyoduro formado se valorara con el tiosulfato, que colocamos en la bureta, hasta decoloración de la disolución, o bien hasta viraje del almidón, que es un buen

indicador de la presencia de yodo en las disoluciones, origina un color azul en presencia de yodo o triyoduro.

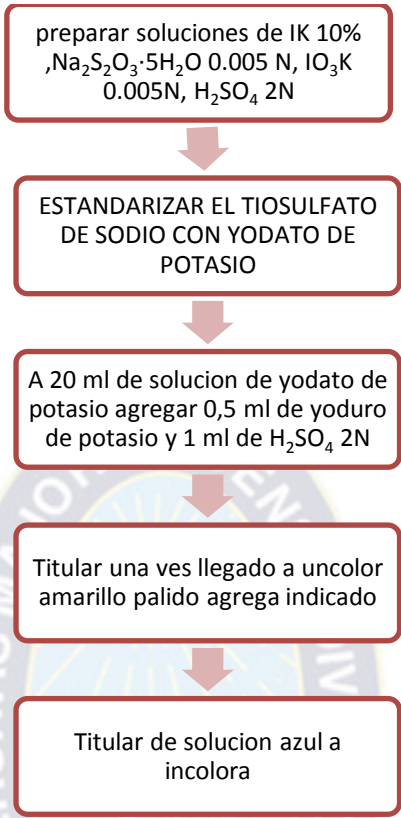
### 3.2. DIAGRAMA DE PROCESO

#### 3.2.1. CRISTALIZACIÓN DE LA SAL



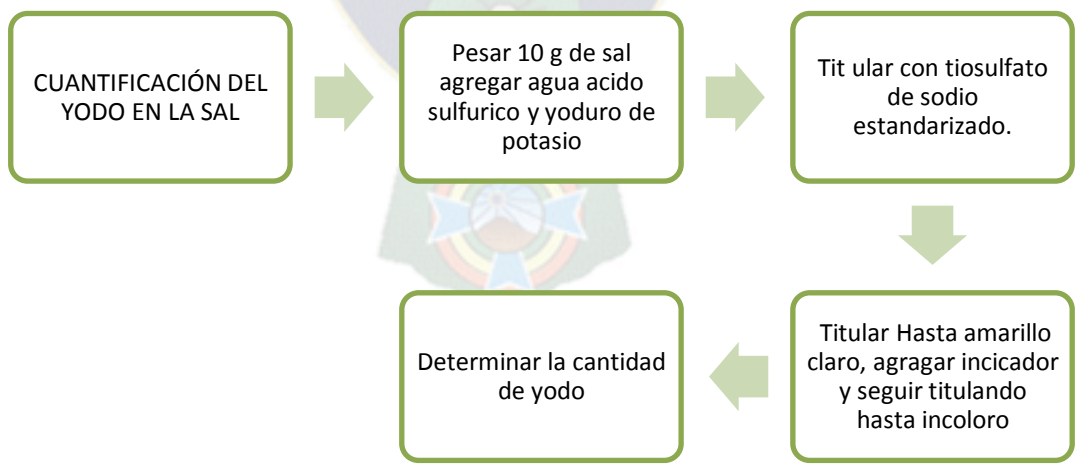
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2. ESTANDARIZACION DEL TIOSULFATO DE SODIO



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. CUANTIFICACION DE YODO



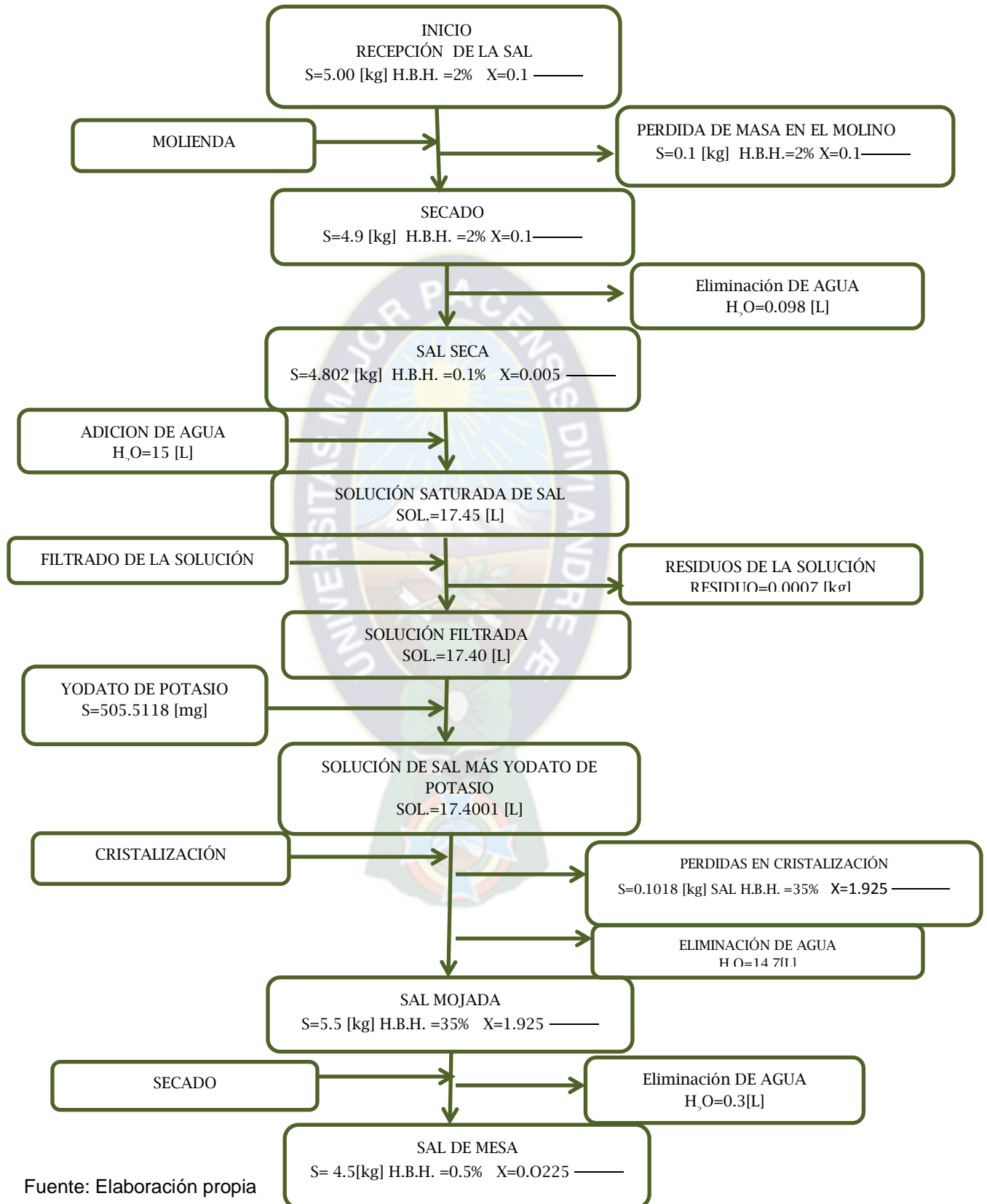
Fuente: Elaboración propia

### 3.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL EQUIPO



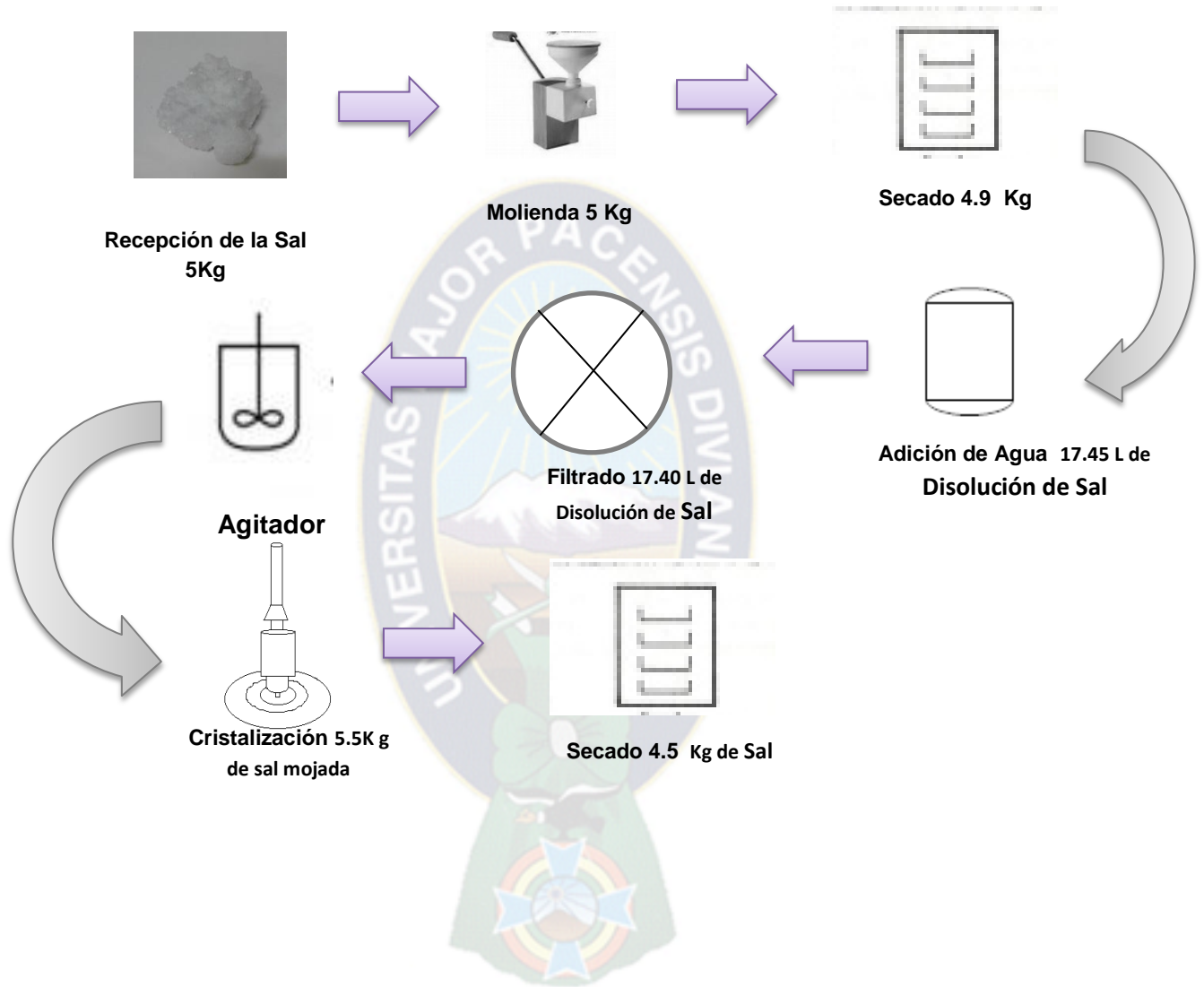
Fuente: Elaboración propia

### 3.4. BALANCE DE MASA



Fuente: Elaboración propia

### 3.5. DIAGRAMA DE EQUIPO



Fuente: Elaboración propia

### **3.6. DESCRIPCIÓN DEL DESARROLLO POR ETAPAS**

#### **3.6.1. CRISTALIZACIÓN DE LA SAL**

##### **ETAPA 1. Preparación de la sal**

- ✓ La sal debe calentarse a 100°C por una hora.
- ✓ Enfriar la sal.

##### **ETAPA 2. Cristalización de la sal**

- ✓ Llevar a solución acuosa saturada la sal.
- ✓ Filtrar la solución para eliminar impurezas.
- ✓ Agregar el yodato de potasio para una cantidad de entre 40 y 80 ppm de yodo en solución.
- ✓ Agitar la muestra por lo menos treinta minutos para una buena homogenización.
- ✓ Llevar a ebullición la solución para disminuir el volumen.
- ✓ Recoger los cristales de sal.
- ✓ Cristalizar por etapas.
- ✓ Secar los cristales a 50 °C por 24 horas.

#### **.3.3.2 DETERMINACIÓN DE YODO POR MÉTODO VOLUMÉTRICO**

##### **ETAPA 1. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES (ver anexo 1)**

Se preparan las soluciones utilizando materiales volumétricos, con pesadas que sean exactas esto con la ayuda de la balanza analítica calibrada

##### **ETAPA 2. Estandarización del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.005N**

- ✓ Aforar la bureta con tiosulfato de sodio 0.005 N.
- ✓ Transferir 20 ml de yodato de potasio 0.005 N en un matraz Erlenmeyer.
- ✓ Añadir 0.5 ml de yoduro de potasio 10% y 1 ml de ácido sulfúrico 2 N.
- ✓ Titular con tiosulfato de sodio 0.005 N agitando hasta que la solución se torne amarillo pálido.
- ✓ Añadir 5 gotas de indicador, titular de color azul a incoloro.

- ✓ Titular por triplicado.
- ✓ Calcular la concentración real del tiosulfato de sodio.

### **ETAPA 3. ANÁLISIS DE YODO EN LA SAL**

- ✓ Pesar 10 de la sal cristalizada seca.
- ✓ Transferir a un matraz Erlenmeyer.
- ✓ Agregar 50 ml de agua.
- ✓ Añadir 1ml de ácido, 5 ml de yoduro de potasio.
- ✓ Inmediatamente titular el yodo libre con tiosulfato de sodio 0.005 N agitando el matraz continuamente hasta que el líquido adquiera una ligera coloración amarilla.
- ✓ Agregar 5 gotas de indicador, titular de solución azul a incolora.
- ✓ Calcular ppm de yodo.
- ✓ Realizar una prueba en blanco.





## 4. PARTE EXPERIMENTAL

### 4.1. PROCEDIMIENTO EN LAS CONDICIONES ACTUALES

La mayoría de las plantas yodadoras de sal se ubican en la categoría artesanal, seguidas por las de tipo semi industrial, muy pocas son industriales en este sentido que las plantas yodadoras de sal no cuentan con características apropiadas para la producción, no tienen los equipos necesarios, no disponen de una infraestructura óptima.

Las marcas de sal yodada del departamento de Oruro están posesionadas en casi todo el territorio nacional incluyendo área rural y urbana, aunque no cumplen por completo la norma de yodación.

La yodación que se realiza en el país sobre todo en las empresas artesanales es incorrecta, por ejemplo en la comunidad de Colchani en Uyuni el procedimiento es el siguiente:

- ✚ Recepción de la sal.
- ✚ Calentamiento en horno artesanal movido por una pala para que el calentamiento sea homogéneo.
- ✚ Enfriar.
- ✚ Agregar yodato de potasio.
- ✚ Llevar a molino.
- ✚ Embolsar.
- ✚ Cierre de la bolsa mediante fuego.

### 4.2. PROCEDIMIENTO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE YODACIÓN EN LA SAL

Para mejorar el proceso de yodación en la sal se debe realizar la yodación en la solución saturada de cloruro de sodio siguiendo los siguientes pasos:

- ✚ La sal debe calentarse a 100°C por una hora.
- ✚ Enfriar la sal.

- ✚ Llevar a solución acuosa saturada la sal.
- ✚ Filtrar la solución
- ✚ Agregar el yodato de potasio
- ✚ Agitar.
- ✚ Cristalizar la sal
- ✚ Cristalizar por etapas.
- ✚ Secar los cristales

### 4.3. DIFERENCIAS ENTRE LOS DOS PROCEDIMIENTOS

- Utilizando el método optimizado el yodo llega a tener una homogenización uniforme en toda la sal y no llega a separarse.
- Utilizando el método optimizado la sal llega tener una mejor higiene por que pasa por un procedimiento de filtrado donde se separa compuestos como ser tierra, basuras, además que se separan compuestos indeseables.
- Utilizando el método optimizado la dosis de yodo que necesariamente toda persona necesita será la adecuada y no así unas veces en mayor cantidad y en otras pocas cantidades.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Resultados de la cristalización de la sal

Se ha obtenido la sal cristalizada como se muestra en la imagen:

Figura 9 Sal cristalizada



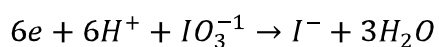
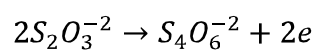
Fuente: Elaboración propia

A esta sal yodada se le debe realizar un análisis de yodo realizando un muestreo al azar de distintos lugares para verificar si la mezcla está bien homogenizada.

### 5.2. Resultados de la homogenización del yodo en la sal

- Estandarización del  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.005 N con  $\text{KIO}_3$  0.005 N

$$\begin{array}{l} V1= 23.1 \text{ ml } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \\ V2= 22.9 \text{ ml } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} V1 \\ V2 \end{array}} \right\} \text{Promedio}=23.0 \text{ ml}$$



$$N \text{ KIO}_3 * V \text{ KIO}_3 = N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$$

$$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * = \frac{N \text{ KIO}_3 * V \text{ KIO}_3}{V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

$$N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \frac{0.005N * 20 \text{ ml}}{23\text{ml}} = 0.00434 N$$

- **Calculo de la concentración de yodo**

$$I_{ppm} = \frac{(V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 - V_{\text{BLANCO}}) * N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 * \frac{126.904}{6}}{g \text{ muestra}} * 1000$$



Volumen  
tiosulfato de  
sodio

10 g de  
muestra

Masa numero 1

$$I_{ppm} = \frac{8.8\text{ml} - 2.4\text{ml}}{10.0031\text{g}} * \frac{0.00434\text{eq}}{L} * \frac{126.904}{6} * 1000 = 55.46\text{ppm}$$

**Tabla N°2 Resultados para distintas muestras**

<b><i>N°</i></b>	<b><i>Masa<sub>NaCl</sub></i></b>	<b><i>V<sub>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub></sub></i></b>	<b><i>C<sub>ppm</sub></i></b>
<b>1</b>	10.0031g	8.5 ml	55.46
<b>2</b>	10.0579g	8.9 ml	59.32
<b>3</b>	10.0541g	8.8 ml	55.17
<b>4</b>	10.0543g	8.5 ml	55.18
<b>5</b>	10.0621g	8.6 ml	56.04
<b>6</b>	10.0065g	8.5 ml	55.44
<b>7</b>	10.0500g	8.7 ml	57.01
<b>8</b>	10.0221g	8.6ml	56.26
<b>9</b>	10.0061g	8.8ml	58.17
<b>10</b>	10.0507g	8.5 ml	55.87

Fuente; Elaboración propia



## 6. CONCLUSIONES

Se obtuvo una sal cristalizada fina en cual se determinó la cantidad de yodo en diferentes muestras escogidas al azar para verificar si en todos existe una mezcla homogénea de yodo.

En los resultados se obtuvieron entre 50 y 60 ppm verificando así que la mezcla se dio uniformemente.

La adición de yodato de potasio que se realizó se calculó para que diera una cantidad de 60 ppm.

El secado con yodato de potasio se lo debe hacer a temperatura de entre 40-60 °C por el lapso de 24 a 48 horas.

La cantidad de yodo presente en la sal debe ser entre 40ppm a 80 ppm o 67ppm a 100 ppm de yodato de potasio según norma boliviana.

La mayoría de las plantas yodadoras de sal se ubican en la categoría artesanal, seguidas por las de tipo semi industrial, muy pocas son industriales en este sentido que las plantas yodadoras de sal no cuentan con características apropiadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Producción de sal para consumo humano – José Antonio Mariscal Uzqueda.
- Reglamento técnico de fortificación de la sal –MINISTERIO DE SALUD.
- Fondo de naciones unidas para la infancia (UNICEF) Retraso mental debido al déficit de yodo en mala alimentación.
- Gaceta oficial de Bolivia
- Catálogo de normas bolivianas dirección|||| nacional de normalización (IBNORCA)
- Control de calidad de la fortificación de sal en empresas salineras.  
TESISTA SERGIO CATARI
- Manual de mineralogía – J. Danna
- Bolivia Destinos (2011) "Salar de Uyuni "en español



## ANEXOS

### ANEXO 1

#### PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

✓ **Ácido sulfúrico 2 N 100ml**

$$PM_{H_2SO_4} = 98.078 \left[ \frac{g}{mol} \right]$$

$$100ml * \frac{2eq - g H_2SO_4}{1000ml} * \frac{1 mol H_2SO_4}{2eq - g H_2SO_4} * \frac{98.078g H_2SO_4}{1 mol H_2SO_4} * \frac{100g H_2SO_4}{98g H_2SO_4} \\ * \frac{1ml H_2SO_4}{1.84g H_2SO_4} = 5.44ml H_2SO_4$$

✓ **Yoduro de potasio 10% 1000ml:** Pesar en balanza analítica 10 g de IK en un vaso de precipitados, transferir cuantitativamente a un matraz aforado de 100ml aforar con agua.

✓ **Tiosulfato de sodio pentahidratado 0.005 N 1000ml:** Pesar la masa calculada en un vaso de precipitados, transferir cuantitativamente a un matraz aforado de 1 L, aforar con agua.

Almacenar en un frasco de plástico protegido de la luz ya que esta solución es inestable.

$$1000ml * \frac{0.005eq - g Na_2S_2O_3}{1000ml} * \frac{1 mol Na_2S_2O_3}{2eq - g Na_2S_2O_3} * \frac{248.182g Na_2S_2O_3}{1 mol Na_2S_2O_3} \\ = 0.6204 g Na_2S_2O_3$$

✓ **Yodato de potasio 0.005 N 1000ml:** Secar en capsulas de porcelana aproximadamente 1 g de yodato de potasio a 110°C durante 1 hora. Pesar la masa en un vaso de precipitados, transferir cuantitativamente a un matraz aforado de 1 L, aforar con agua.

$$1000ml * \frac{0.005eq - g KIO_3}{1000ml} * \frac{1 mol KIO_3}{6eq - g KIO_3} * \frac{214.001g KIO_3}{1 mol KIO_3} = 0.1783 g KIO_3$$



- ✓ **Almidón soluble al 1%:** almidón al 1% debe utilizarse almidón soluble p.a. 1g de este por 100ml de agua fría, calentar con agitación hasta que se obtenga una solución hirviente incolora, la cual podría tener una pequeña opalescencia, a continuación ajustar con agua hervida a volumen y dejar enfriar debidamente cubierto.

## ANEXO 2

**Foto No 1 MOLIENDA DE SAL**



**Foto No 2 AGITACIÓN DE SAL**



**Foto No 3 MUESTRA DE SAL**



**Foto No 4 FILTRADO DE LA MUESTRA DE SAL**



## CUANTIFICACIÓN DE YODO

**Foto No 5 MUESTRAS PARA TITULAR**



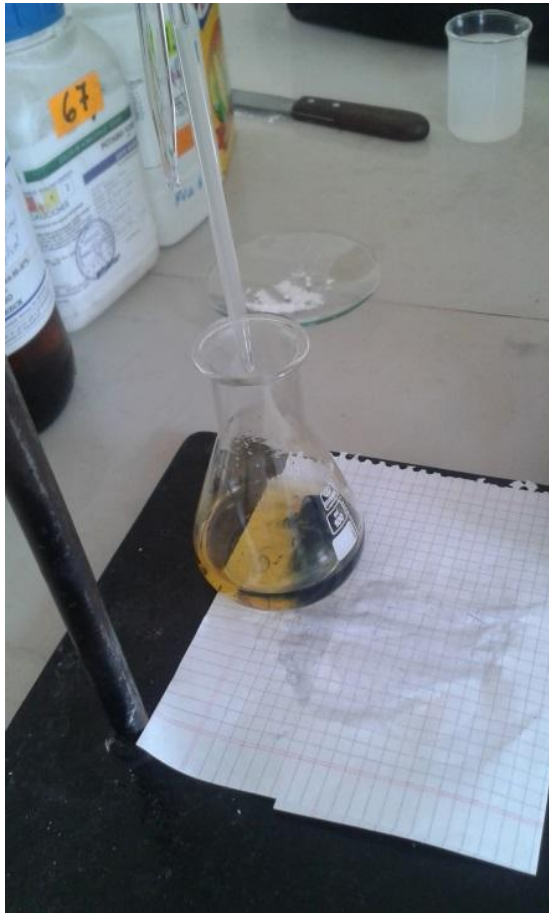
**Foto No 6 TITULACIÓN DE LA MUESTRA**



**Foto No 6 TITULACIÓN HASTA AMARILLO PÁLIDO**



**Foto No 7 ADICIÓN DE  
INDICADOR**



**Foto No 8 CAMBIO DE LA  
SOLUCIÓN A COLOR AZUL**

