

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



ELABORACIÓN DE UNA PRÁCTICA PARA LA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL
YODO PRESENTE EN LA SAL FORTIFICADA MEDIANTE MÉTODO VOLUMÉTRICO
TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN

PRESENTADO POR

LAURA ELIZABETH TRUJILLO FLORES

KEVIN EDUARDO VANEGAS CUÉLLAR

PARA OPTAR AL GRADO DE

LICENCIADO EN QUÍMICA Y FARMACIA

ABRIL 2025

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LICENCIADO PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANA

MAESTRA NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

SECRETARIA

LICENCIADA EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCIÓN GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL (AD-HONOREM)

MAESTRA KATIA LISSETTE MARTÍNEZ DE PALACIOS

TRIBUNAL EVALUADOR

ASESORES

LICENCIADO ALEXIS ANTONIO GUADRÓN

LICENCIADA AIDA ESTELA ROSALES RIVAS

TUTOR

MAESTRO LUIS GUILLERMO ESCALANTE ESCOBAR

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de El Salvador y la Facultad de Química y Farmacia, por ser el lugar de aprendizaje y formación profesional durante estos maravillosos años en que hemos cursado como estudiantes de la carrera de Licenciatura en Química y Farmacia.

Agradecemos profundamente a toda la estructura académica que a lo largo de estos años nos han apoyado integralmente en nuestra formación.

De forma muy especial agradecemos al diplomado de especialización de “Análisis Químico de Alimentos” de la Facultad de Química y Farmacia, de la Universidad de El Salvador, y a todo el equipo de cursos de especialización por todo el apoyo y seguimiento incondicional que nos han brindado para poder finalizar exitosamente nuestro trabajo de graduación.

Agradecemos a nuestro tutor el maestro Luis Guillermo Escalante Escobar por su seguimiento y dirección en el desarrollo de este trabajo. Gracias a nuestro tribunal evaluador Licenciado Alexis Guadrón y Licenciada Aida Estela Rosales, que distinguidamente enriquecieron nuestro trabajo final de investigación.

A nuestras familias, amigos y cada persona que quizá sin saberlo aportó palabras de ánimo para que ahora estemos cumpliendo esta meta que inicio como un sueño y ahora es una realidad.

A DIOS sobre todas las cosas porque sin Él no lo hubiésemos logrado.

Laura Elizabeth Trujillo Flores

Kevin Eduardo Vanegas Cuéllar

DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas de seguir adelante en los momentos en los que mi espíritu se quebrantó, por darme la fe cuando no podía creer que llegaría a la meta, por darme la sabiduría en el momento de aplicar todo lo aprendido en las decisiones difíciles en el trabajo por darme la oportunidad de seguir aprendiendo fuera de los salones de clase.

A mi madre Ana Miriam Flores de Trujillo y a mi padre Alfonso Trujillo Hernández por siempre hacerme comprender la importancia de estudiar y apoyarme en todo lo que pudieron para que lograra ser una profesional y darme las herramientas para ser una líder, gracias por enseñarme a honrar mi trabajo y ser agradecida.

A mis amadas hermanas y cómplices Flor y Geraldina por ser en todo momento un buen ejemplo, por sus consejos y apoyar sin presionar, gracias por respetar mis decisiones y estar cuando estas no fueron acertadas, gracias por los abrazos, los cuadernos, las risas y todos esos incentivos que para muchos fueron insignificantes, pero para mí valieron más que oro.

A esa persona que desde que llegó a mi vida no ha hecho más que apoyarme y hacerme ver cosas que ni yo veo en mí misma, gracias por creer, por confiar, por estar, por ser ese empujoncito que me hizo avanzar en este camino que ha sido fácil, Ronald gracias por tanto y por todo lo que has dado a mi vida.

Dedico este trabajo a todas las personas que han sido mis pilares en esta etapa, a mi familia y a mis amigas que fueron, son y serán de las mejores relaciones que me ha dejado la universidad, se han convertido en familia y soy feliz de que sean parte de mi historia, también la dedico a esa niña que jugaba con aguas de colores, esa adolescente que compro una carpeta sin saber que estudiar, esa joven que pasaba viendo en el bus un laboratorio y soñaba con trabajar ahí y a esa adulta que consiguió ese trabajo y hoy busca dejar un precedente en la forma en la que las mujeres lideran las plantas productivas.

Ahora tengo la alegría de decir: ¡lo hemos logrado, soy Química Farmacéutica!

Laura Elizabeth Trujillo Flores

DEDICATORIA

A DIOS que ha sido mi fortaleza y refugio, mi fuerza y sabiduría, mi guía y confianza, mi fe y compañía incondicional, por su amor eterno.

A mis padres Gisela y Miguel, por su amor, su lucha y esfuerzo, por ayudarme incondicionalmente, por priorizar antes que, a ellos mismos, por su sueño de verme como un profesional, ahora cumplido.

A mis hermanas Camila y Jimena que han sido mi motivación y energía para no rendirme, por cada palabra de aliento y por impulsarme siempre a seguir adelante.

A Gabriela que se volvió mi compañía idónea en este viaje y un pilar que me sostiene con toda su delicadeza.

A toda mi familia y a cada persona que me apoyó de una y mil maneras.

Kevin Eduardo Vanegas Cuéllar

ÍNDICE GENERAL

Pág. N°

ABREVIATURAS

GLOSARIO

RESUMEN

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN 18

CAPÍTULO II 19

2.0 OBJETIVOS 20

CAPÍTULO III 21

3.0 MARCO TEÓRICO 22

3.1. Composición química del cuerpo 22

3.2. Nutrientes 23

3.2.1. Micro y macronutrientes 23

3.2.2. Micronutrientes 24

3.3.1. Importancia de los minerales en la dieta humana 25

3.3.2. Distribución de los minerales 28

3.3.3. Precaución con los excesos 29

3.4. Yodo 30

3.4.1. Distribución del yodo en el ambiente 30

3.4.2. Yodo en los alimentos 31

3.4.3. Fisiología del yodo 34

3.4.4. Impacto de otros nutrientes en el metabolismo del yodo 36

3.4.4.1. Hormonas tiroideas: Eje Hipotálamo- hipófisis- tiroides 36

3.4.4.2. Función de las hormonas tiroideas 37

3.4.5. Enfermedades asociadas a la ingesta de yodo 37

3.4.6. Deficiencia de Yodo 38

3.4.6.1. Desórdenes por deficiencia de Yodo 38

3.4.6.2. Exceso de Yodo	40
3.5. Sal	41
3.5.1. Países productores de sal	41
3.5.2. Beneficios y riesgos	43
3.5.3. Aportaciones de la sal	44
3.6. Prevalencia mundial de las carencias de micronutrientes	45
3.6.1. Deficiencias nutricionales por micronutrientes en El Salvador	46
3.6.2. Estrategias para el control de las carencias de micronutrientes	47
3.7. Fortificación de Alimentos	48
3.7.1. Fortificación con yodo	49
3.7.2. Intervención en fortificación de alimentos en El Salvador	49
3.8. Reglamento Técnico Salvadoreño 67.06.01:13 Fortificación de alimentos. Especificaciones. (Azúcar, sal, harina de maíz nixtamalizado y pastas alimenticias)	50
3.9. Norma Salvadoreña Obligatoria 67.20.01:05. Sal fortificada con yodo	52
3.9.1. Tipos de sal	53
3.9.2. Características físicas y químicas	53
CAPÍTULO IV	55
4.0 PRODUCTO FINAL	56
CAPÍTULO V	68
5.0 CONCLUSIONES	69
CAPÍTULO VI	71
6.0 RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°		Pág. N°
1	Alimentos en los que se encuentran macronutrientes	23
2	Ciclo del yodo y su concentración en el medio ambiente. Los números indican µg de yodo por kilogramo de materia seca, o por litro si la materia está en estado líquido.	30
3	Estructura química de las hormonas tiroideas.	34
4	Eje Hipotálamo-hipófisis-tiroides.	35
5	Distribución Mundial de Producción de sal.	42
6	Estructura de la reacción de determinación de reductores.	58
7	Fórmula para determinación del índice de yodo en aceites y grasas comestibles.	59
8	Etiqueta recomendada para información sobre el muestreo.	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		Pág. N°
1	Composición química de un cuerpo humano que pesa 65 kg.	21
2	Componentes del cuerpo indicando las funciones en el organismo.	21
3	Principales funciones de los minerales presentes en los alimentos.	25
4	Minerales y alimentos en donde se encuentran.	27
5	Contenido de yodo en algunos alimentos.	31
6	Contenido en yodo de otros productos de uso humano.	33
7	Trastornos asociados al nivel de yodo de la población.	37
8	Especificaciones sensoriales y fisicoquímicas de la sal yodada.	49
9	Métodos de análisis para la sal.	51
10	Características físicas y químicas de la sal	

INDICE ANEXOS

- 1 Preparación de la muestra. Determinación cuantitativa del yodo presente en la sal fortificada mediante la técnica de volumetría.
- 2 Análisis de la muestra. Determinación cuantitativa del yodo presente en la sal fortificada mediante la técnica de volumetría.
- 3 Estandarización de la solución valorante. Determinación cuantitativa del yodo presente en la sal fortificada mediante la técnica de volumetría.
- 4 Norma salvadoreña NSO 67.20.01:05. Sal fortificada con yodo.
- 5 Tabla de conversión para yodo en sal fortificada (partes por millón, ppm)

ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

AESAN: Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición.

AOAC INTERNATIONAL: Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (Association of Official Agricultural Chemists).

DCMN: Desnutrición por carencia de micronutrientes.

DIT: Diyodotirosina.

EFSA: Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (European Food Safety Authority).

GH: Hormona del crecimiento (Growth hormone).

ICAITI: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial.

mcg: Microgramo.

MIT: Monoyodotirosina (Monoiodotyrosine).

OMS: Organización Mundial de la Salud.

RTS: Reglamento Técnico Centroamericano.

SNC: Sistema Nervioso Central.

T3: Triyodotironina.

T4: Tiroxina.

TCY: Trastornos por Carencia de Yodo.

TMB: Tasa de Metabolismo Basal.

TRH: Hormona Liberadora de Tirotropina (Thyrotropin-Releasing Hormone).

TSH: Hormona estimulante de la tiroides o tirotropina (Thyroid-stimulating hormone).

µg: Microgramos.

µg/100 g: Microgramo por 100 gramos.

µg/cápsula: Microgramo por cápsula.

$\mu\text{g}/\text{comprimido}$: Microgramo por comprimido.

$\mu\text{g}/\text{g}$: Microgramo por gramo.

$\mu\text{g}/\text{L}$: Microgramo por litro.

$\mu\text{g}/\text{mL}$: Microgramo por mililitro.

UNICEF: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (United Nations International Children's Emergency Fund).

GLOSARIO

Arenque: Pez teleósteo, fisóstomo, de unos 25 cm de longitud, cuerpo comprimido, boca pequeña, dientes visibles en las dos mandíbulas, aletas ventrales estrechas, y color azulado por encima, plateado por el vientre, y con una raya dorada a lo largo del cuerpo en la época de la freza.¹

Berberecho: Molusco bivalvo, de unos cuatro centímetros de largo y conchas estriadas casi circulares, que vive enterrado en la arena y es muy apreciado como comestible.¹

Bociógeno: Sustancias que interfieren en la manera en que el organismo utiliza el yodo.²

Cigala: Crustáceo marino comestible, de color claro y caparazón duro, semejante al cangrejo de río, y que puede alcanzar gran tamaño.¹

Endémico: Propio y exclusivo de determinadas localidades o regiones.¹

Enfermedad de Graves-Basedow: Es un trastorno autoinmunitario que lleva a hiperactividad de la glándula tiroides (hipertiroidismo). Un trastorno autoinmunitario es una afección que ocurre cuando el sistema de defensas ataca por error el tejido sano.³

Enfermedad de Hashimoto: Es una afección causada por una reacción del sistema inmunitario contra la glándula tiroides. A menudo trae como consecuencia una disminución de la función tiroidea (hipotiroidismo).⁴

Espasticidad: Hipertonía muscular de origen cerebral que se manifiesta por espasmos.¹

Eutiroideos: El síndrome del enfermo eutiroideo es una afección en la que las concentraciones séricas de hormonas tiroideas son bajas en pacientes que tienen una enfermedad sistémica no tiroidea pero que en realidad son eutiroideos. El diagnóstico se basa en la exclusión de hipotiroidismo. El tratamiento está dirigido a la enfermedad subyacente y no está indicada la reposición de hormonas tiroideas.⁵

Fortificación o enriquecimiento: adición de uno o más nutrientes esenciales a un alimento, tanto si está como si no está contenido normalmente en el alimento, con el fin de prevenir o corregir una deficiencia demostrada de uno o más nutrientes, en la población o en grupos específicos de la población.⁶

Glaciación: Formación de grandes masas de hielo en la superficie terrestre.¹

Hidrosfera: Conjunto de partes líquidas del globo terráqueo.¹

Hipertrofia: Aumento anómalo del volumen de un órgano.¹

Lenguado: Pez teleósteo marino de carne muy apreciada, de cuerpo oblongo y muy comprimido, casi plano, y cabeza asimétrica, que vive, como otras muchas especies del orden de los pleuronectiformes, echado siempre del mismo lado.¹

Litosfera: Envoltura rocosa que constituye la corteza exterior sólida del globo terrestre.¹

Mineralización: Acción y efecto de mineralizar o mineralizarse.¹

Mitigar: Moderar, aplacar, disminuir o suavizar algo riguroso o áspero.¹

Mero: Pez teleósteo marino, del suborden de los acantopterigios, muy apreciado por su carne, que llega a tener un metro de largo, con cuerpo casi oval, achatado, de color amarillento oscuro por el lomo y blanco por el vientre, cabeza grande y algo rojiza, y boca armada de muchos dientes.¹

Mújol: Pez teleósteo, del suborden de los acantopterigios, comestible, de unos 70 cm de largo, de cuerpo alargado, gris azulado por el dorso y plateado por el vientre, y cuyas huevas son muy estimadas.¹

Nécora: Decápodo braquiuro, cangrejo de mar, de cuerpo liso y elíptico.¹

Oligoelemento: Elemento químico que en muy pequeñas cantidades es indispensable para las funciones fisiológicas; p. ej., el zinc y el aluminio.¹

Salmuera: Líquido que se prepara con sal y otros condimentos, y se utiliza para conservar carnes, pescados, etc.¹

RESUMEN

En El Salvador fue aprobada la NSO 67.20.01:05, SAL FORTIFICADA CON YODO por el Comité Técnico de Normalización, Comité Técnico de Fortificación de Alimentos; excepto harinas. La oficialización de la norma conlleva la ratificación por Junta Directiva y el Acuerdo Ejecutivo del Ministerio de Economía. Se estableció que la vigilancia y verificación de esta norma corresponde al Departamento de Control de Alimentos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y a la Dirección General de Protección al Consumidor del Ministerio de Economía y al Ministerio de Agricultura y Ganadería. En el presente trabajo de investigación se elaboró una práctica para la determinación cuantitativa del yodo presente en la sal fortificada mediante método volumétrico, con el fin de esquematizar cada una de las etapas de la práctica, especificando la metodología, el principio o fundamento de la misma, la preparación de los reactivos a utilizar, el procedimiento, los puntos o parámetros críticos del proceso, al igual que el análisis de los posibles resultados al comparar con el valor de referencia para el contenido de yodo en la sal fortificada establecido por la NSO 67.20.01:05.

La elección del método volumétrico para la elaboración de esta práctica, se debe a que es la referencia específica de la AOAC para el método de ensayo y análisis especificado en la NSO 67.20.01:05. Cabe mencionar que la volumetría presenta grandes ventajas frente a otros métodos de análisis como la gravimetría, ya que, en lugar de pesar, en volumetría la determinación cuantitativa de sustancias químicas se efectúa por medio de la medición precisa de los volúmenes de las disoluciones que entran en la reacción.

La importancia de contar con una práctica que permita la determinación cuantitativa del yodo radica en que al desarrollar la práctica los alumnos tengan una guía clara que les permita realizar su investigación sabiendo los cuidados especiales que deben tener para que su estudio sea eficiente y obtengan los valores reales de la cantidad de yodo que puede estar consumiendo la población salvadoreña proponiendo acciones para la prevención de enfermedades ocasionados por la deficiencia o alto consumo del mismo.

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN

El yodo es un oligoelemento esencial para el organismo, ya que este participa en la síntesis de las hormonas tiroideas. Sin embargo, el cuerpo humano no puede producirlo por sí solo, por lo que debe ser obtenido a través de la dieta. La mayor parte del yodo ingerido se absorbe en el intestino delgado (principalmente en el yeyuno e íleon) y posteriormente, entre el 96-99% se metaboliza en la glándula tiroides. No obstante, una parte del yodo también se distribuye a otras zonas del cuerpo, como los plexos coroideos, los riñones y la retina.

Dada la importancia del yodo en múltiples funciones biológicas, es fundamental asegurar una ingesta adecuada de este mineral. La FDA (Administración de Alimentos y medicamentos por sus siglas en inglés) recomienda un consumo diario de 150mcg. En El Salvador como medida para erradicar las enfermedades por deficiencia de yodo se implementó en la década de 1,900 la fortificación de la sal con este elemento mediante la Ley de yodación de la sal emitida por el decreto legislativo número 45. Por ello resulta crucial identificar los valores de referencia actuales del contenido de yodo en la sal fortificada.

El cumplimiento de los valores establecidos en la norma nacional, es de suma importancia para la salud de la pública. Sin embargo, durante nuestra investigación no encontramos estudios recientes en los que se analizara el cumplimiento de esta regulación, esto nos motivó a desarrollar una práctica de laboratorio que permita determinar la cantidad de yodo presente en una muestra de sal fortificada a través del método de volumétrico con tiosulfato de sodio. Este método de valoración directa se basa en la acción oxidante del yodo y reductora de los yoduros.

La esquematización y desarrollo de esta práctica de laboratorio permitirá a futuras generaciones realizar una cuantificación precisa y eficiente del contenido de yodo en sal fortificada. Nuestra investigación abarca desde la preparación de reactivos y estandarización de la solución titulante hasta la preparación de la muestra y su titulación incluyendo los cálculos a realizar y los valores de referencia según la NORMA SALVADOREÑA DE SAL FORTIFICADA CON YODO NSO 67.20.01:05. La investigación para la elaboración de esta práctica se llevó a cabo en el periodo abril 2024 – marzo 2025.

CAPÍTULO II

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Elaborar una práctica para la determinación cuantitativa del yodo presente en la sal fortificada mediante método volumétrico.

2.2 Objetivos específicos:

2.2.1. Investigar los valores de referencia de contenido de yodo la sal fortificada que propone la normativa salvadoreña y la importancia del cumplimiento de estos.

2.2.2. Investigar sobre los riesgos o efectos negativos que conllevan la ingesta elevada o deficiente de yodo en el cuerpo humano.

2.2.3. Esquematizar todas las etapas que comprenden la práctica de laboratorio para la determinación del contenido de yodo en muestras de sal para consumo humano mediante volumetría.

CAPÍTULO III

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1. Composición química del cuerpo⁷

La composición de nuestros cuerpos depende en gran parte de lo que hemos consumido, el número de elementos químicos en el cuerpo humano se encuentra principalmente en forma de agua, proteína, grasas, sales minerales y carbohidratos, en los porcentajes indicados en la Tabla N° 1, en la Tabla N° 2 se expresan las funciones de cada uno de ellos.

Tabla N° 1. Composición química de un cuerpo humano que pesa 65 kg.⁷

Componente	Porcentaje de peso corporal
Agua	61.6
Proteína	17.0
Grasas	13.8
Minerales	6.1
Carbohidratos	1.5

Tabla N° 2. Componentes del cuerpo indicando las funciones en el organismo.⁷

Componente	Función
Agua	Aporta líquido al cuerpo y ayuda a regular la temperatura corporal
Carbohidratos	Como combustible y energía para el calor corporal y el trabajo
Grasas	Combustible energético y producción de ácidos grasos esenciales
Proteínas	Crecimiento y reparación
Minerales	Desarrollo de tejidos corporales, procesos metabólicos, y protección
Vitaminas	Procesos metabólicos y de protección
Partículas indigeribles y no absorbibles, incluyendo fibra	Forma un vehículo para otros nutrientes, agregan volumen a la dieta, suministran un hábitat para la flora bacteriana y ayudan a la eliminación adecuada de desechos.

3.2. Nutrientes⁸

Todo ser vivo debe desarrollar continuamente una gran cantidad de funciones para mantenerse saludable. Esto se lleva a cabo en cada célula del organismo y representa un trabajo enorme, que requiere mucha energía. Como seres humanos, nuestro organismo obtiene esa energía necesaria de los nutrientes que están contenidos en los alimentos.

Los nutrientes son sustancias químicas formadas por moléculas unidas fuertemente entre sí. El aparato digestivo cuenta con enzimas que “rompen” esas uniones y permiten que un alimento, por ejemplo, una milanesa (que no es otra cosa que un conjunto de carbohidratos, proteínas, grasas, vitaminas y minerales) se convierta en una cantidad de pequeñas moléculas que pueden ser transportadas por la sangre hasta cada célula del cuerpo, obteniendo así la energía vital.

En las células, esas moléculas se vuelven a unir, pero de una manera distinta y en sus uniones guardan la energía que el cuerpo utilizará cuando la necesite. Entre las energías podemos encontrar una forma que es de rápida utilización, brindada por los carbohidratos, y otra de reserva, que es proporcionada por las grasas.

Es importante saber que no todos los nutrientes tienen la función de brindar energía. Por ejemplo, las proteínas sirven para formar nuevas células, enzimas y proteínas. También, aportan al transporte de sustancias a través de la sangre, entre otras funciones.

Por su parte, las vitaminas y minerales, a pesar de que se encuentran y utilizan en pequeña cantidad, cumplen muy variadas e importantísimas funciones como por ejemplo colaborar en los procesos de cicatrización y de regeneración de tejidos, ayudar en la inmunidad y en la formación de glóbulos rojos. Es por estas razones que la alimentación sana debe ser lo suficientemente variada como para cubrir las necesidades de la mayor cantidad de nutrientes posible.

3.2.1. Micro y macronutrientes⁹

Los alimentos están constituidos por diferentes tipos de nutrientes: por un lado, están los carbohidratos, las proteínas y las grasas, que son los llamados “macronutrientes”, los cuales el cuerpo necesita en grandes cantidades con la finalidad de proporcionar energía y hacer funcionar el metabolismo, mientras que las vitaminas y los minerales son los denominados “micronutrientes”, estos se necesitan en menor cantidad, pero siendo a su vez igual de necesarios

que los anteriores. Intervienen en diferentes funciones como producir energía, función inmunológica o la salud ósea entre otras.⁹

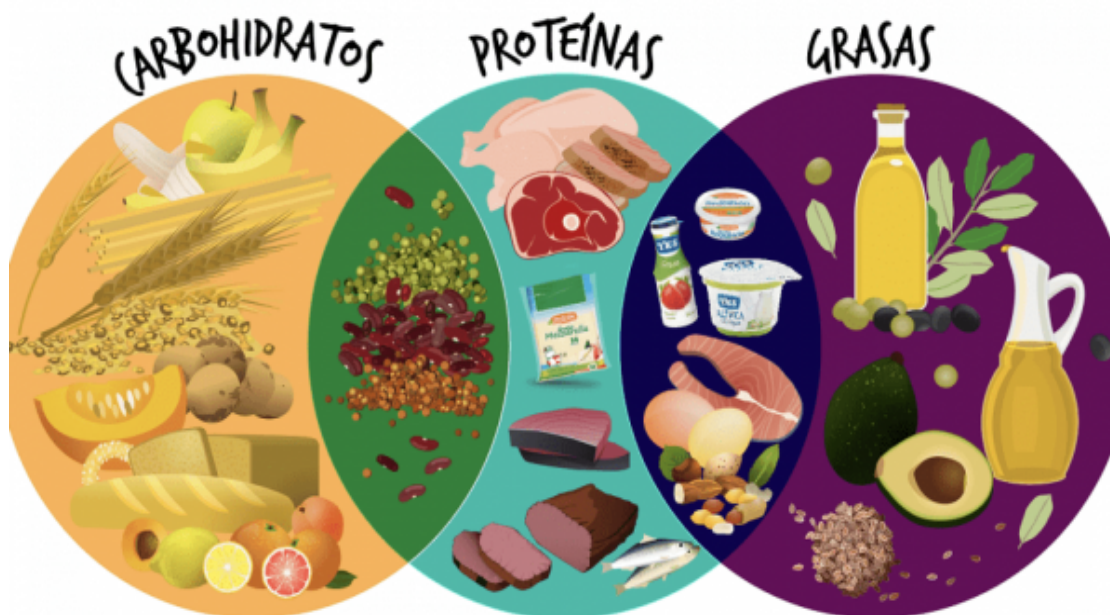


Figura N° 1. Alimentos en los que se encuentran macronutrientes¹⁰

3.2.2. Micronutrientes¹¹

Son elementos o compuestos que pueden ser orgánicos o inorgánicos que el ser humano necesita en pequeñas cantidades, importantes en el funcionamiento de este. No aportan energía, pero son esenciales en los diferentes procesos metabólicos. Los micronutrientes deben ser aportados por la dieta; para que estén en cantidades adecuadas, la dieta debe ser equilibrada o balanceada con los nutrientes necesarios para el buen funcionamiento fisiológico.

La deficiencia de vitaminas y/o minerales se le conoce como estado carencial, esto puede ser causado por: disminución de ingesta o pérdida aumentada, debido a algún proceso infeccioso o inflamatorio. Para el buen funcionamiento de las células, tejidos, órganos y sistemas, se requiere un aporte nutricional óptimo de micronutrientes. Una alimentación, que no satisfaga las necesidades nutricionales de vitaminas y minerales, repercute de manera negativa en las funciones vitales del individuo y más, en el paciente desnutrido.

Los micronutrientes se clasifican en dos grandes grupos: vitaminas y minerales. Estos, a su vez se dividen en: vitaminas liposolubles e hidrosolubles, macrominerales y microminerales u oligoelementos.

3.3. Minerales¹²

Los minerales son elementos químicos simples cuya presencia e intervención es imprescindible para la actividad y salud de las células. Los minerales están divididos en tres grupos de acuerdo con su concentración: Los macroelementos: calcio, fósforo, magnesio, potasio y sodio. Microelementos: zinc, flúor, hierro y yodo. Los oligoelementos o elementos trazas: Se encuentran en cantidades en el orden de partes por millón

3.3.1. Importancia de los minerales en la dieta humana¹³

Los minerales son sustancias inorgánicas presentes en todos los tejidos y fluidos del cuerpo, y su presencia es necesaria para el mantenimiento de ciertos procesos fisicoquímicos que son esenciales para la vida. La deficiencia o alteración en la nutrición causa una variedad de enfermedades que pueden agravarse de muchas maneras. La presencia de elementos minerales en la alimentación es vital para los procesos metabólicos, ya que juegan un rol muy importante en la salud y sus deficiencias pueden repercutir gravemente sobre ella.

La ingesta diaria recomendada de nutrientes minerales son cantidades pequeñas, especialmente cuando se comparan con nutrientes como los carbohidratos, proteínas y lípidos. Los macrominerales son aquellos presentes en mayores proporciones en los tejidos del cuerpo, necesitando una mayor cantidad de ellos en la dieta. Los microminerales son esenciales en la dieta humana; sin embargo, son requeridos en menores cantidades (Tabla N° 3). También existen los elementos traza u oligoelementos, considerados así cuando su requerimiento diario es muy pequeño. Los oligoelementos son aquellos minerales que requieren una ingesta diaria menor a 18 mg., Los macrominerales, como aquellos elementos que se requieren ingerir diariamente en una cantidad igual o mayor a 100 mg, y los ‘microminerales’ son aquellos con un requerimiento de ingesta diaria generalmente menor a los 100 mg, los cuales incluyen los 11 oligoelementos esenciales.¹³

Tabla N° 3. Principales funciones de los minerales presentes en los alimentos.¹³

Minerales	Funciones metabólicas
Microminerales	
Cromo	Participa en el metabolismo de carbohidratos, ayuda a mantener los niveles de glucosa sanguínea.
Cobalto	Parte de la vitamina cianocobalamina.
Cobre	Participa en la síntesis del colágeno y elastina. Actúa como antioxidante. Participa en la formación de hemoglobina, células rojas y enzimas.
Fluoruro	Participa en la mineralización de los huesos y dientes. Inhibe la iniciación y progreso de caries dentales y estimula la formación de hueso nuevo.
Yodo	Función cognitiva, metabolismo energético, funcionamiento del sistema nervioso, mantenimiento de la piel, producción normal de hormonas y la función tiroidea. Crecimiento de los niños.
Hierro	Transporta oxígeno y electrones. Actúa en el metabolismo de células.
Manganeso	Participa en la formación de hueso como antioxidante
Molibdeno	Cofactor de varias enzimas envueltas en el catabolismo de aminoácidos que contienen azufre, purinas y pirimidinas.
Níquel	Puede servir como cofactor de enzimas microbianas y plantas, y facilita la absorción de hierro o el metabolismo en microorganismos.
Selenio	Antioxidante celular, regulador de la hormona tiroidea, de los estados de reducción y oxidación de la vitamina C y otras moléculas.

Tabla N° 3. (Continuación)

Zinc	Participa en la síntesis de proteínas, funciones inmunológicas, actúa en muchas enzimas involucradas en el metabolismo de macronutrientes implicados en la maduración sexual. Es requerido para las sensaciones de sabor.
Macrominerales	
Calcio	Componente de huesos y dientes. Participa en la coagulación de la sangre y comunicación intracelular
Cloro	Junto con el sodio, mantiene el volumen del fluido exterior de las células y por lo tanto su buen funcionamiento.
Magnesio	Participa en la formación de huesos y dientes. Actúa sobre la relajación muscular y el equilibrio ácido-base del organismo.
Fósforo	Actúa en la formación de huesos y dientes. Forman los fosfolípidos presentes en las membranas celulares. Participa en el almacenamiento y transferencia de energía y síntesis de nucleótidos
Potasio	Mantiene el volumen del fluido dentro y fuera de las células, por lo tanto, su buen funcionamiento. Actúa para mitigar el aumento de la presión sanguínea en respuesta a la ingesta excesiva de sodio. Disminuye los marcadores de recambio óseo y la recurrencia de cálculos renales.
Sulfuro (como sulfato inorgánico)	Proporciona sulfato cuando compuestos que contienen azufre son necesarios tales como sulfato de condroitina y sulfato de cerebroside.

3.3.2. Distribución de los minerales¹⁴

En general, los minerales se encuentran ampliamente distribuidos en los alimentos (Tabla N° 4), aunque los cereales integrales, los frutos secos y las legumbres concentran una buena cantidad. No existe ningún alimento que contenga todos los minerales, por lo que es necesario seguir una dieta variada y equilibrada, lo que garantiza cubrir con las necesidades de todos ellos.

Además de la cantidad de minerales que contienen los alimentos, hay que tener en cuenta otros aspectos como la biodisponibilidad, que es la cantidad de esos minerales que efectivamente podemos utilizar para los procesos biológicos. La edad es un factor determinante, puesto que, en personas mayores, la absorción intestinal de nutrientes está disminuida, lo que es especialmente importante en vitaminas y minerales. El tratamiento que se da a los alimentos también es importante.

Los procesos tecnológicos que tienen lugar en la fabricación de alimentos procesados e incluso los cocinados pueden provocar pérdidas importantes de nutrientes. Por lo mismo según la referencia, se recomienda cocinar al vapor las verduras para evitar así la pérdida de minerales en el agua de cocción (lixiviación). Lo mismo sucede con el lavado de los alimentos, en los que debe evitarse tiempos largos y agua caliente, puesto que favorecen la solubilidad en agua de los minerales. Desde el punto de vista nutricional, una cocción corta a temperatura elevada es preferible frente a tiempos más largos a temperaturas más suaves.

Tabla N° 4. Minerales y alimentos en donde se encuentran.¹⁴

Minerales	Alimentos
Calcio	Leche y quesos madurados, almendras.
Cloro (Cl, cloruro)	Mariscos. alimentos con sal.
Cobre (Cu)	Hígado, frutos secos, legumbres, muchos mariscos, cereales integrales.
Cromo (Cr)	Huevo, carne de ternera, pan blanco, judías blancas, algunos quesos, (se tienen pocos datos de su contenido en alimentos)

Tabla N° 4. (Continuación)

Fluor (F, fluoruros)	Agua fluorada (se tienen pocos datos de su contenido en alimentos y su cantidad es muy baja)
Fósforo (P)	Cereales integrales, frutos secos, huevos, legumbres, marisco, algunos pescados frescos.
Hierro (Fe)	Vísceras, frutos secos, yema de huevo, legumbres, algunos mariscos
Magnesio (Mg)	Cereales integrales, frutos secos, legumbres.
Manganeso (Mb)	Muy presente en cereales integrales, legumbres y frutos secos (se tienen pocos datos en tablas españolas).
Molibdeno (Mb)	Huevo, carne, cereales, lentejas, patatas (se tienen pocos datos de su contenido en alimentos)
Potasio (K)	Frutos secos, legumbres, frutas desecadas.
Selenio	Vísceras, pipas de girasol, marisco, pescado, algunos cereales y derivados.
Sodio	Alimentos procesados con sal añadida. También puede provenir de los aditivos.
Yodo	Sal yodada, pescados, mariscos, huevo. Alimentos con sal yodada.
Zinc	Cereales integrales, algunos frutos secos, yema de huevo, legumbres, algunos mariscos.

3.3.3. Precaución con los excesos¹⁴

Contrario a lo que se piensa, mayor cantidad de minerales no significa mayor efecto, sino que, por el contrario, puede llegar a provocar toxicidad y a interferir con el metabolismo de otros nutrientes. Esto sucede con el calcio, el magnesio, el yodo, el cobre y el zinc, para los que la EFSA ha establecido ingestas máximas tolerables que se pueden ingerir sin que exista riesgo para

la salud a largo plazo. Por esta razón, hay que tener especial cuidado con los suplementos de minerales, puesto que es habitual que contengan cantidades elevadas de estas e incluso excedan las ingestas máximas tolerables.

3.4. Yodo

Es un oligoelemento esencial para el desarrollo humano, está en pequeñas cantidades y se concentra en la glándula tiroides. La principal función del yodo es la síntesis de la hormona tiroxina (T4) y triyodotironina (T3). Estas hormonas regulan el desarrollo del sistema nervioso central, crecimiento, termogénesis, y diversas funciones del metabolismo.¹¹

Para calcular la concentración de yoduro en el cuerpo se miden los niveles del mineral en orina, ya que, en sangre, el yodo es bajo por la rápida captación del mismo por la glándula tiroides y su excreción por los riñones.¹¹

3.4.1. Distribución del yodo en el ambiente¹⁶

El yodo está distribuido por el planeta, de manera irregular, sólo los productos de origen marino tienen un elevado contenido en yodo, exceptuando la sal marina. El yodo formaba parte del desarrollo inicial de la Tierra, pero grandes cantidades de yodo se diluyeron debido a las glaciaciones, nieve o lluvia llegando al océano.

La presencia de yodo en la tierra procede de las precipitaciones, del desgaste de roca, de la actividad volcánica, la descomposición de vegetación, la deposición de excreción de animales alimentados con suplementos de yodo y del uso de fertilizantes y/o pesticidas. La cantidad de yodo en la tierra puede variar entre 0,1 y 150 mg/kg (Ver figura N° 2).¹⁶

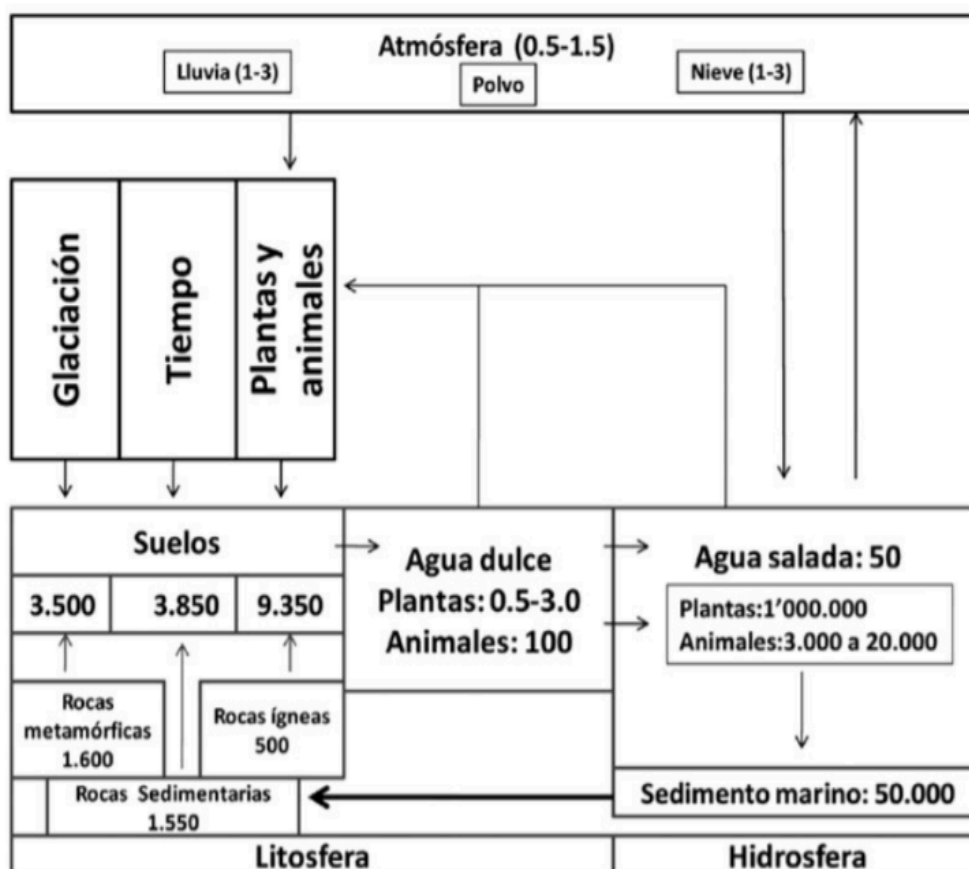


Figura N° 2. Ciclo del yodo y su concentración en el medio ambiente. Los números indican μg de yodo por kilogramo de materia seca, o por litro si la materia está en estado líquido.¹⁶

La concentración de yoduro en el agua del mar es aproximadamente $50 \mu\text{g/L}$. El yodo de los océanos se evapora y posteriormente precipita en la tierra, donde crecen y se alimentan plantas y animales, por lo tanto, la presencia de yodo en los alimentos y seres vivos depende del terreno donde se cultivan y viven.¹⁶

3.4.2. Yodo en los alimentos

La composición de yodo de los alimentos varía según su procedencia como se ha señalado anteriormente. Generalmente son los productos marinos, entre ellos las algas, los que mayor proporción de yodo contienen. En la Tabla N° 5 se presenta el contenido de yodo de algunos alimentos.¹

Tabla N° 5. Contenido de yodo en algunos alimentos¹⁶

Alimentos	Contenido en yodo en µg/100 g
Mújol	330
Almejas, berberechos en conserva	120
Huevas frescas	117
Arenques, sardinas saladas o ahumadas	100
Ajo	94
Cigalas, langostinos, gambas o camarones	90
Bacalao	60
Mero	60
Centollo, cangrejos, langosta, nécoras	35-40
Acelgas, judías verdes	32-35
Piña	30
Champiñón y setas	18
Ostras	18
Lenguado	18
Rábanos	17
Habas secas	16
Cacahuetes	14
Anguila, angula, caballa, jurel, pescadilla	10
Leche entera y desnatada	9
Zanahoria	9
Hígado	9
Atún	7
Tomate	7
Ciruelas secas	7
Soja	6,3
Caracoles	6
Chocolate	5,5

Tabla N° 5. (Continuación)

Cerdo (magro)	5,2
Lechuga y escarola	5
Vinos de mesa	5
Guisantes verdes	4,2
Leche de cabra	4
Higos secos	4
Yogur	3,5-3,8
Zumos cítricos	3,1
Pasta	3
Limón	3
Nueces	3
Patatas fritas	3
Vacuno (magro)	2,8
Maíz	2,6

Así el contenido en yodo de las verduras y hortalizas dependerá el terreno donde se hayan cultivado. La cantidad de yodo de los productos animales se verá influenciada por el consumo a partir de piensos o pastos y por el uso de fertilizantes o antisépticos en cuya composición exista yodo.¹⁶

A pesar del contenido de yodo en los alimentos crudos, la cantidad presente en los alimentos cocidos va a depender del proceso de preparación. Así, al freír o asar el pescado se pierde hasta 20% del yodo, mientras al hervirlo se pierde hasta 58%. Además, no todo el yodo ingerido se absorbe. Los estudios de captación de yodo radiactivo sugieren que el yodo administrado vía oral se absorbe total y rápidamente. Sin embargo, no ocurre así cuando coincide con una malnutrición calórico-proteica. Por otro lado, lo que puede aplicarse al yodo inorgánico ingerido en ayunas, no lo es cuando se trata de yodo orgánico ingerido con alimentos.¹⁷

Cabe destacar otras fuentes de yodo, como son los medicamentos, por ejemplo, la amiodarona o jarabes mucolíticos, la povidona yodada (utilizada como antiséptico) y suplementos vitamínicos, el contenido se expresa en la Tabla N° 6.¹⁶

Tabla N° 6. Contenido en yodo de otros productos de uso humano.¹⁶

Productos	Contenido en yodo
Sal yodada	60 µg/g
Amiodarona	7.500 µg/comprimido
Solución de Lugol	126.000 µg/ml
Povidona yodada	10.000 µg/ml
Yoduro sódico al 10%	85.000 µg/ml
Enterovioformo	120.000 µg/ml
Contrastes radiológicos:	
-Hexadrix	320.000 µg/ml
-Oragrafin	308.000 µg/cápsula
-Lipiodol	380.000 µg/ml
-Renografin	370.000 µg/ml
-Telepaque	

Otro punto importante para tener en cuenta es la presencia de alimentos que contienen bociógenos. Los bociógenos interfieren o impiden la correcta absorción del yodo. Se incluyen dentro de este grupo de alimentos.¹⁶

- Brócoli, coliflor, col y coles de Bruselas
- Grelo
- Rábano
- Berro
- Soja
- Semillas de lino
- Nabo

3.4.3. Fisiología del yodo¹⁶

El yodo no se puede sintetizar en el organismo por lo que para su obtención debe ser ingerido en la dieta. El yodo se ingiere en varias formas químicas. La mayor parte del yodo ingerido se absorbe en el intestino (yeyuno e íleon); el 96-99% del yodo ingerido se metaboliza en la glándula tiroidea, aunque otra parte del yodo se dirige a otras zonas como plexos coroideos, riñón, retina, etc.

El yodo entra en la glándula tiroidea en forma de yoduro contra gradiente químico y eléctrico, a través de un transportador. A su vez la tiroglobulina se forma en las células foliculares del tiroides, y servirá de base para la yodación. Al unirse el yoduro con la tiroglobulina se producen las hormonas precursoras: diyodotirosina (DIT) y monoyodotirosina (MIT). Al acoplarse dos moléculas de DIT se forma la T4 y al acoplarse una molécula de MIT y DIT se produce la T3 (Figura N° 3).

Una vez liberadas al torrente sanguíneo la T4 y T3 se unen a proteínas transportadoras, sintetizadas en el hígado, y viajan hasta los tejidos diana, donde la T4 se degrada a T3, que es la hormona metabólicamente activa. El yodo sobrante de esa degradación vuelve a la sangre donde puede iniciar un nuevo ciclo de conversión en hormonas tiroideas o eliminarse a través de la orina. La orina contiene más del 90% del yodo ingerido, el resto se elimina a través de la materia fecal.

La hormona estimulante de la tiroides o tirotropina (TSH) es el regulador principal de función tiroidea, se segrega en función de las concentraciones de hormonas tiroideas circulantes. Sus acciones principales son aumentar la captación de yodo por parte de la tiroides y liberar T4 y T3 a la circulación.

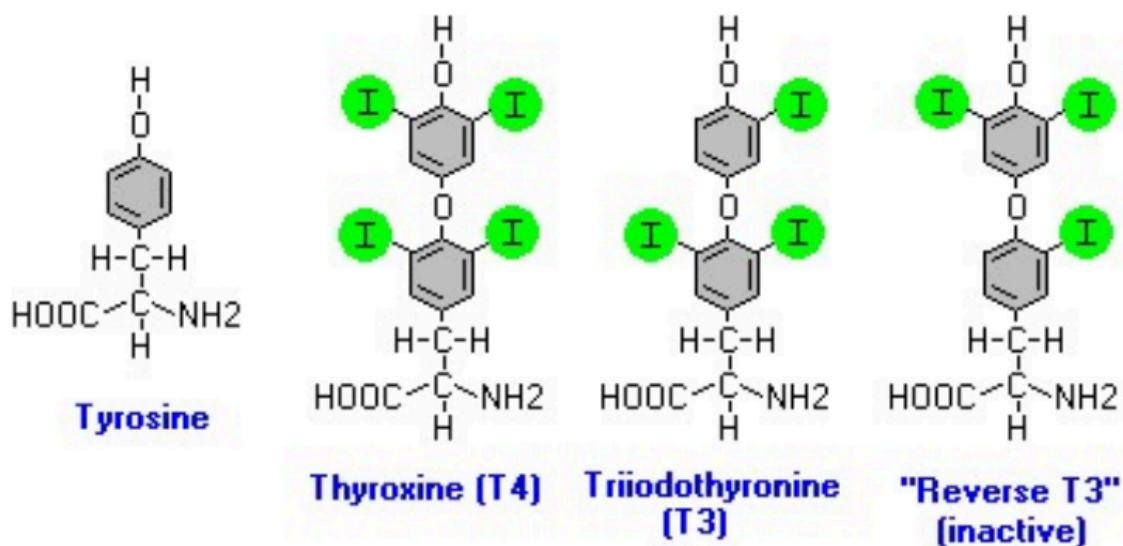


Figura N° 3. Estructura química de las hormonas tiroideas.¹⁶

3.4.4. Impacto de otros nutrientes en el metabolismo del yodo¹⁶

Además del yodo, existen otras deficiencias de micronutrientes que puede afectar negativamente a la función tiroidea, como: el hierro, selenio o la vitamina A. A este respecto, se ha señalado que la deficiencia de hierro puede afectar la función tiroidea al alterar el control del sistema nervioso central (SNC) y reducir la actividad de la peroxidasa tiroidea, enzima que cataliza la yodación de la tiroglobulina. Asimismo, el selenio es un componente integral de dos enzimas importantes: la yodotironina deiodinasa y el glutatión peroxidasa, presentes en muchos tejidos entre ellos en la glándula tiroides. Estas deiodinasas catalizan la activación de la prohormona T4 a T3 y también están presentes en la degradación de la reserva de T3, otra deiodinasa inactiva las hormonas tiroideas. Además, se han descrito varios efectos de la deficiencia de vitamina A en el eje pituitario-tiroideo. La vitamina A regula el metabolismo de la hormona tiroidea en la glándula tiroides y la síntesis de TSH por la hipófisis.

3.4.4.1. Hormonas tiroideas: Eje Hipotálamo- hipófisis- tiroides.¹⁶

La regulación de la secreción de hormonas tiroideas se realiza a partir de varios mecanismos, por un lado, el eje hipotálamo-hipófisis-tiroides regula la concentración de hormonas disponibles para los tejidos, a nivel de los mismos tejidos diana, la actividad de las desyodasas regula la cantidad de hormona para ese tejido y por último la glándula tiroides regula la cantidad de yodo que capta para la síntesis de hormonas (Figura 4). En el hipotálamo se origina y almacena la hormona liberadora de tirotrópina (TRH) ésta se libera al sistema venoso portal hipofisiario, y estimula la secreción de TSH. La TSH es la encargada de unirse a los receptores de la glándula tiroides y así estimular la síntesis y liberación de las hormonas tiroideas (T3 y T4).

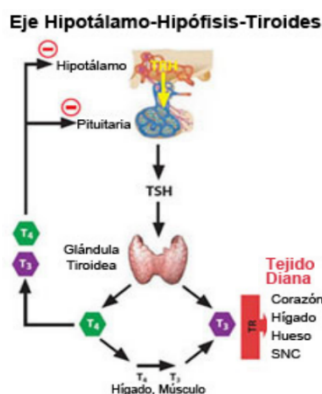


Figura N° 4. Eje Hipotálamo-hipófisis-tiroides.¹⁶

Este sistema se regula por un mecanismo de 'feed back', es decir si se detectan niveles bajos de hormonas tiroideas en el torrente sanguíneo se activarán las hormonas precursoras (TRH y TSH) para estimular la síntesis y liberación de hormonas tiroideas. Si por el contrario se detectan niveles altos de hormonas tiroideas, la secreción de TRH y TSH disminuye.

Como se ha comentado anteriormente la glándula tiroides, regula la cantidad de yodo que capta para la síntesis de las hormonas tiroideas, uno de los efectos de regulación es el conocido como Wolff-Chaikoff. El efecto Wolff-Chaikoff se produce cuando la concentración de yodo es alta y se inhibe la producción de hormonas tiroideas, lo que puede dar lugar una disfunción tiroidea.

3.4.4.2. Función de las hormonas tiroideas¹⁶

Las hormonas tiroideas tienen multitud de funciones y acciones en los distintos tejidos y órganos del cuerpo humano, entre ellas destaca:

- Desarrollo del SNC: el desarrollo del SNC del feto está regulado por las hormonas tiroideas, causando un daño irreversible si existe deficiencia. También potencian la respuesta a estímulos y la velocidad de los reflejos.
- Metabolismo: aumento en la producción de energía y consumo de oxígeno en la mayoría de los tejidos.
- Sistema circulatorio: aumento del gasto cardiaco, de la frecuencia cardiaca, del volumen sistólico y de la fuerza de contracción.
- Intervienen en el metabolismo de glúcidos, lípidos y proteínas.
- Crecimiento corporal: estimula la secreción de la hormona del crecimiento (GH).
- Funcionamiento y desarrollo del aparato reproductor.
- Desarrollo de la audición y la visión.

3.4.5. Enfermedades asociadas a la ingesta de yodo¹⁶

En líneas generales la ingesta insuficiente de yodo puede producir un hipotiroidismo, ya que no habría yodo suficiente para la formación de las hormonas tiroideas. A pesar de lo comentado, un déficit moderado de yodo puede producir también hipertiroidismo debido a la formación de nódulos tiroideos hiperfuncionantes.

La ingesta excesiva de yodo puede causar hipertiroidismo (Enfermedad de Graves-Basedow) o también hipotiroidismo al producirse anticuerpos antitiroideos (Enfermedad de Hashimoto).

Tanto el exceso como el déficit de consumo de yodo en la dieta pueden afectar a la síntesis de las hormonas tiroideas, y en consecuencia producir enfermedades tiroideas (hiper o hipotiroidismo) (Tabla N° 7).

Tabla N° 7. Trastornos asociados al nivel de yodo de la población.¹⁶

Nutrición en yodo	Mediana yodo en orina puntual (µg/L)	Enfermedad relacionada
Yododeficiencia grave	<20	Cretinismo Bocio Hipotiroidismo
Yododeficiencia moderada	20-49	Bajo coeficiente intelectual Bocio Hipertiroidismo
Yododeficiencia leve	50-99	Bocio Hipertiroidismo
Nivel óptimo	100-199	
Más que adecuado	200-299	Hipotiroidismo
Excesivo	≥300	Hipotiroidismo Bocio

3.4.6. Deficiencia de Yodo¹⁸

El yodo es un oligoelemento esencial para la síntesis de hormonas tiroideas, su deficiencia en el organismo puede ser causa de daño cerebral irreversible y retardo en el desarrollo psicomotor. Además, es la principal causa prevenible de alteraciones del desarrollo cognitivo.

3.4.6.1. Desórdenes por deficiencia de Yodo¹⁸

Los desórdenes por deficiencia de yodo son causados por la falta de este en los alimentos. Los trastornos por carencia de yodo (TCY), son muy importantes debido a que alrededor de una

cuarta parte de la población del mundo consume cantidades insuficientes de yodo; sus consecuencias tienen un importante impacto en la persona y en la sociedad y, además, de entre las principales enfermedades por carencia nutricional, los TCY son los más difíciles de controlar.

- Bocio endémico¹⁸

La hipertrofia de la glándula tiroides es la manifestación clínica de falta de yodo más obvia, y descrita con mayor frecuencia. Cuando los consumos alimentarios de yodo están por debajo de 50 µg por día en adultos, la tiroides empieza a compensar el déficit con una hipertrofia lenta a través del tiempo. Donde haya una carencia alimentaria de yodo, la tiroides casi siempre empieza a crecer durante la infancia, y de modo más notorio en la pubertad.

Esto se debe a que la glándula tiroides secreta hormonas vitales para el crecimiento y metabolismo, esta glándula está constituida sobre todo por folículos llamados acinos. Cada acino produce hormonas tiroideas, las almacena y las deposita en el torrente circulatorio según sea su demanda. La falta de yodo dietético hace cada vez más difícil que la tiroides pueda producir suficiente tiroxina (la hormona tiroidea principal), por lo que la glándula empieza a aumentar su tamaño para tratar de compensar y producir más tiroxina.

- Hipotiroidismo¹⁸

El hipotiroidismo, o tiroides hipoactiva, ocurre cuando la glándula tiroides no produce suficientes hormonas tiroideas para satisfacer las necesidades del cuerpo. Si por cualquier motivo se produce muy poca hormona tiroidea, la tasa de metabolismo basal (TMB) se reduce y se presenta el estado de hipotiroidismo, que puede llevar a la condición clínica llamada mixedema. En el adulto esta enfermedad se caracteriza por aspecto de obeso, piel seca y algunas veces rostro en luna llena. Con frecuencia hay sobrepeso, pulso bajo y pereza.

La diferencia entre el bocio endémico y el hipotiroidismo radica en que, las personas con bocio endémico por lo general están bien compensados y no presentan evidencia de hipo o hipertiroidismo. Se les considera eutiroideos, pues tienen la función tiroidea normal a pesar de la hipertrofia de la tiroides.

Cabe destacar que el hipotiroidismo infantil es motivo de preocupación para los países en desarrollo, debido a la evidencia de ser causa de retardo mental y bajo crecimiento físico. En

lugares con alta prevalencia de los TCY, gran número de niños no alcanzan a desarrollar su potencial intelectual debido a un rendimiento deficiente en su educación y a un coeficiente intelectual bajo.

- Cretinismo endémico¹⁸

La carencia del yodo durante el embarazo puede llevar al nacimiento de un niño cretino. El bebé puede parecer normal al nacer, pero luego crece y se desarrolla con lentitud, es de tamaño pequeño, de lento en el aprendizaje y, además, muchos de estos niños son sordomudos.

A medida que el niño crece puede tener la apariencia de un cretino, que se caracteriza por tener piel gruesa, características burdas, nariz aplastada, lengua larga y saliente y estrabismo común. A los dos años, el niño aún no puede caminar sin ayuda, y a los tres puede no estar capacitado para hablar o entender órdenes sencillas.

El cretinismo se manifiesta de dos formas, la neurológica y la hipotiroidea. Las características de la forma neurológica incluyen déficit mental; la apariencia característica; incapacidad para caminar o hacerlo arrastrando los pies; dificultades para controlar movimientos exactos de las manos y pies (espasticidad); y algunas veces, pero no siempre, tiroides agrandada. Por otro lado, el cretino hipotiroideo por definición tiene niveles bajos de hormona tiroidea, tiene pulso lento, cara abotagada y piel gruesa; su crecimiento físico, edad ósea y desarrollo mental son muy retardados; y hay TMB baja.

En ambas formas de cretinismo, el daño neurológico, el retardo mental y el enanismo, son irreversibles aun con tratamiento, se puede detener el empeoramiento, pero no el daño permanente que se ocasionó durante el embarazo.

3.4.6.2. Exceso de Yodo¹⁸

A dosis elevadas de yodo pueden producirse algunos de los mismos síntomas que la deficiencia de yodo, entre ellos bocio. Las dosis elevadas de yodo también pueden causar inflamación de la glándula tiroidea y cáncer de tiroides. Además, el consumo de una dosis muy elevada, por ejemplo, si se han consumido varios gramos, puede ocasionar ardor en la boca, la garganta y el estómago, fiebre, dolor de estómago, náuseas, vómitos, diarrea, pulso débil e incluso coma. A

continuación, figuran los límites superiores diarios de consumo de yodo. Estos niveles no se aplican a persona que consumen yodo por motivos de salud.

3.5. Sal¹⁹

La sal es el condimento más antiguo usado por el hombre y su importancia para la vida es tal que ha marcado el desarrollo de la historia en sus distintas etapas, alcanzando grandes repercusiones económicas, políticas y culinarias a lo largo de las civilizaciones que han ido puliendo nuestra cultura y formas de vida.

La historia de la sal ha estado unida a las grandes transacciones comerciales que su legado aun hoy se conserva en los nombres de los lugares como la prehistórica Route Du Sel en Francia o la vial asaria en roma. La sal se obtiene de diferentes medios: por evaporación de una salmuera o por pulverización mineral, es decir, por medio de minerales extraídos de minas. En el mundo se producen 300 millones de toneladas de sal al año. China es el productor más grande con una producción de 70 millones de toneladas, seguido por Estados Unidos con 45 millones de toneladas al año

La sal es un compuesto de cloro (Cl) y sodio (Na) que en química se denomina cloruro sódico (NaCl), es un compuesto. La sal existe en todas partes, tanto en la tierra como en el mar, existiendo en la naturaleza casi en cantidades ilimitadas. Por cada litro de agua en el océano hay alrededor de 30 gramos de sal. Según cálculos estimados en la tierra hay siete millones de kilómetros cúbicos de sal marina sin contar con la cantidad de sal gema contenida en numerosos yacimientos (minas) alrededor del globo terráqueo.

Es un compuesto inorgánico que se encuentra formado por 39.34% de sodio y 60.658% de cloro, la sal cuando se encuentra en estado puro es incolora, pero al encontrarse mezclada con otros compuestos químicos presenta un color blanco y a veces grisáceo; la sal cristalizada principalmente en forma de cubos. En soluciones acuosas tiene un sabor salobre y presenta cierto sabor amargo debido a la presencia de sales de magnesio.

3.5.1. Países productores de sal¹⁵

Las fuentes mundiales de sal son prácticamente inagotables. La sal contenida en los océanos es muy grande. En el año 2007 se llegaron a producir en el mundo cerca de un total de 250 millones

de toneladas de sal. El mayor productor mundial de sal es China con cerca de 56 millones de toneladas de producción seguido por Estados Unidos (incluyendo Puerto Rico) con cerca de 43,8 millones de toneladas. China es el mayor productor desde hace una década, antes lo era Estados Unidos. En Europa el mayor productor es Alemania con 18 millones de toneladas, España produce 3,9 millones de toneladas de sal. En América del Sur el mayor productor es Brasil con 7 millones de toneladas, seguido de Chile con 6 millones.

Las estimaciones del Departamento de Interior de EE. UU. muestran que la producción mundial de sal está disminuyendo en lo que va de siglo XXI y que de la misma forma no hay substitutos de la sal a precios razonables. La producción mundial de sal entre 1986 y 1996 experimentó un incremento de aproximadamente 70 millones de toneladas es decir un aumento del 57,6%. Estados Unidos, China, Canadá y Alemania concentran el 47% de la producción mundial. El crecimiento está correlacionado con el crecimiento de la población en el mundo.

Aproximadamente la mitad de la producción mundial de sal proviene de áreas diseñadas para la producción de sal a través de la evaporación del agua del mar y el resto de la extracción minera, en algunos países la extracción minera puede suponer casi un 90% como es el caso de Estados Unidos. (Ver figura N° 5)

- El mayor productor del mundo es Estados Unidos,
- Canadá tiene producción de sal en Ontario, Quebec y New Brunswick.
- El mayor productor de sal en América del Sur es Brasil (en la región de Rio Grande do Norte y en Río de Janeiro, en la denominada Região dos Lagos), seguido de Chile y Colombia.
- En México se produce sal en Guerrero Negro (Baja California Sur).
- En Argentina el 50% de la producción proviene de la provincia de La Pampa, el resto de la producción se reparte entre las salinas de San Luis y Buenos Aires.
- En Colombia, existe la Catedral de Sal de Zipaquirá, que es el sitio de mayor producción en el país y además es un sitio de interés turístico, y la mina de sal a cielo abierto más grande del mundo, ubicada en Manaure, departamento de La Guajira.

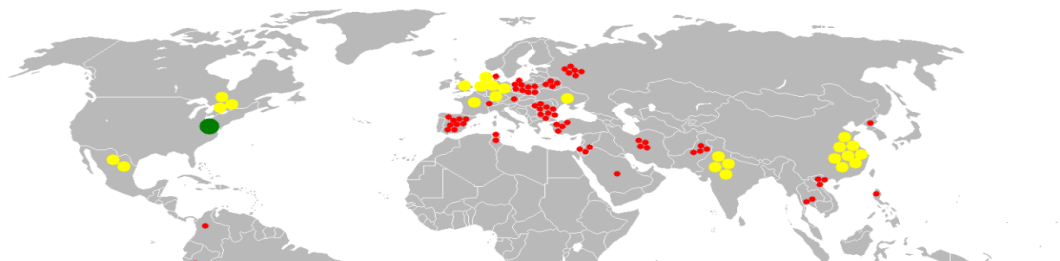


Figura N° 5. Distribución Mundial de Producción de sal.¹⁵

3.5.2. Beneficios y riesgos¹⁹

Este mineral contribuye a que el cuerpo esté bien equilibrado, introduciendo agua a las células; es esencial para que el sistema nervioso transmita impulsos al cerebro y para la relajación muscular, entre muchas otras cosas. Sin embargo, el exceso de sal puede causar daños en los riñones, problemas en la presión arterial, trastornos cardiovasculares y muchos más padecimientos, por eso la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda ingerir 5 gramos de sal (una cucharada cafetera) al día, máximo. En España, los datos actuales publicados por AESAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición) sobre el consumo de sal de la población española y la fundación Carlos Slim en su programa Salud Digital para Latinoamérica mencionan los siguientes riesgos y beneficios del consumo de sal.

Beneficios¹⁹

- Reduce ojeras: Gracias a su composición de iones de sodio y cloro, la sal (en cualquiera de sus presentaciones), ayuda a detener los procesos biológicos de envejecimiento.
- Desintoxica algunos alimentos: La sal de Himalaya contiene una medida exacta de fungicidas, que se utiliza para eliminar hongos y microbios de las carnes y verduras. En este caso es muy útil para limpiar las hojas de la lechuga o conservar carnes y pescados. También puede hacer una mezcla de agua, sal en un spray como repelente insectos y también como un pesticida orgánico.
- Elimina los ácidos del cuerpo: El cuerpo por naturaleza obtiene nutrientes alcalinos del agua natural, las frutas y las diferentes sales, lo que le permite mantener un pH estable para la correcta absorción de nutrientes. Sin embargo, las dietas de alimentos chatarra, gaseosas e incluso el agua en botella son ácidos, es decir, que pueden alterar esta absorción correcta de los nutrientes.
- Mejora la salud cardiovascular: Paradójicamente la sal, en todas sus presentaciones, en un vaso de agua ayuda a reducir los niveles de colesterol, reduce la presión sanguínea, normaliza los latidos del corazón e incluso, puede prevenir enfermedades cerebrales e infartos.
- Elimina dolores del cuerpo: Tanto la sal común, como la sal marina y la rosada tienen la propiedad de antiinflamatorio gracias a sus minerales. Esta propiedad funciona para mitigar los dolores.

3.5.3. Aportaciones de la sal¹⁹

Hoy en día la sal se caracteriza por otra serie de propiedades que también aportan beneficios de forma notable a la sociedad. Relacionada con su origen natural, su capacidad como conservante le convierte en un aditivo seguro para la industria alimentaria. Además, su capacidad para resaltar y potenciar los sabores permite que los consumidores puedan disfrutar de una dieta variada compuesta por multitud de alimentos de origen diverso. Por otra parte, su función como vehículo óptimo de yodo y flúor es otra de sus importantes aportaciones sociales. Bajo la recomendación de la OMS y UNICEF, la sal enriquecida contribuye de forma decisiva a la erradicación de enfermedades de gravedad en la población mundial

Riesgos¹⁹

- Hipertensión: La sal que los riñones no son capaces de eliminar se acumula en la sangre. Así como el sodio aumenta el líquido del organismo, incrementa, a su vez, el volumen de sangre circulante, por lo que el corazón se ve obligado a trabajar de más. Esto aumenta la presión arterial.
- Trastornos renales y cardiovasculares: El desequilibrio en el corazón puede provocar infartos cerebrales y de miocardio (tejido muscular del corazón), así como insuficiencia cardíaca. De igual manera, la función de filtrado, llevada a cabo por los riñones, se ve perjudicada, potenciando la hipertensión arterial en un círculo vicioso. Sin olvidar la retención de líquidos, la cual genera edema e hinchazón de piernas y tobillos.
- Osteoporosis: El cuerpo querrá eliminar el sodio por la orina, y con él se estará perdiendo calcio, lo que dañará los huesos y generará mayor predisposición a fracturas óseas.
- Tumores: Este mal hábito favorece algunos tipos de tumores, como el cáncer de estómago, a través de lesiones ulcerosas e infecciones.
- Sobrepeso y obesidad. El sodio en demasía aumenta la sed, y al no saciarse con agua se corre el peligro de desequilibrar el balance entre calorías ingeridas y calorías consumidas, mediante refrescos y bebidas energéticas.
- La carencia de yodo origina una serie de trastornos: bocio endémico, hipotiroidismo, daño cerebral, cretinismo, anomalías congénitas, mal desenlace del embarazo y deterioro del desarrollo cognoscitivo y físico. La ingesta diaria recomendada de yodo en mayores de 2 años es de 100-200 µg/d. Las recomendaciones actuales de la OMS (Organización

Mundial de la Salud) señalan la necesidad de reducir la carencia de yodo a escala mundial usando sal yodada.

3.6. Prevalencia mundial de las carencias de micronutrientes²⁰

La desnutrición por carencia de micronutrientes (DCMN) está generalizada en las naciones industrializadas y aún más en las regiones en desarrollo del mundo. Pueden afectar a todos los grupos de edad, pero los niños pequeños y las mujeres en edad reproductiva tienden a estar en mayor riesgo de desarrollar carencias de uno o varios micronutrientes. Estas carencias causan numerosos efectos adversos en la salud humana, pero no todos son clínicamente evidentes. Incluso los niveles moderados de carencia (detectables a través de mediciones bioquímicas o clínicas) pueden tener efectos nocivos en la salud humana. Por lo tanto, además de los efectos obvios y directos, la existencia de las DCMN tiene profundas implicaciones para el desarrollo económico y la productividad, particularmente en términos de inmensos costos para la salud pública y pérdida en la formación de capital humano.

En el mundo, las tres formas más comunes de DCMN son la carencia de hierro, de vitamina A y de yodo. Juntas, estas carencias afectan por lo menos a la tercera parte de la población mundial, cuya mayoría se encuentra en los países en desarrollo; de las tres, la carencia de hierro es la más prevalente. Se estima que poco más de 2.000 millones de personas tienen anemia, poco menos de 2 000 millones tienen un estado nutricional inadecuado de yodo y 254 millones de niños en edad preescolar tienen carencia de vitamina A.

En las regiones más pobres del mundo, las DCMN existirán donde quiera que haya desnutrición debido a la escasez de alimentos, y es probable que sean comunes cuando la dieta carece de diversidad. En términos generales, mientras que los grupos de población más prósperos pueden complementar los alimentos básicos de su dieta con alimentos ricos en micronutrientes (como carne, pescado, aves, huevos, leche y productos lácteos) y tienen un mayor acceso a una variedad de frutas y vegetales, las personas más pobres tienden a consumir únicamente pequeñas cantidades de dichos alimentos, y dependen de dietas más monótonas basadas en cereales, raíces y tubérculos. El contenido de micronutrientes de los cereales (especialmente después de la molienda), las raíces y los tubérculos es bajo, por lo cual generalmente estos alimentos solo proporcionan una pequeña proporción de los requerimientos diarios de la mayoría de las

vitaminas y minerales. La ingesta de grasa en dichos grupos con frecuencia también es muy baja y, debido al papel de la grasa para facilitar la absorción intestinal de varios micronutrientes, coloca a dichos grupos de población en un mayor riesgo de DCMN. Por consiguiente, las poblaciones que consumen pocos alimentos de origen animal pueden sufrir una alta prevalencia de carencias simultáneas de micronutrientes.

3.6.1. Deficiencias nutricionales por micronutrientes en El Salvador

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) las carencias específicas de micronutrientes se caracterizan por ser altamente prevalentes definidas como: hambre oculta. En los países de la región las carencias altamente prevalentes han sido deficiencias de vitamina A, hierro y yodo, las cuales tienen un impacto en la salud pública por lo que requieren del esfuerzo conjunto para su prevención y control.²¹

La creciente incorporación de alimentos ricos en grasas o carbohidratos en la dieta habitual hace que se cubran las necesidades de energía, pero no así las vitaminas y minerales denominados "micronutrientes" indispensables en el ser humano para garantizar el crecimiento físico, el desarrollo cognoscitivo, el mantenimiento fisiológico y la resistencia a las infecciones.²¹

En lo que respecta al yodo, éste es un micronutriente esencial para la salud, que se considera esencial debido a que varias especies animales (angiospermatos y mamíferos), incluyendo al ser humano, no pueden crecer adecuadamente ni complementar su ciclo vital satisfactoriamente cuando el aporte de yodo es inadecuado, ya que no puede ser reemplazado por otro elemento en la estructura de las hormonas tiroideas, por lo que es imprescindible en el metabolismo general.²²

La deficiencia de yodo ha sido ampliamente documentada en Centroamérica desde hace 40 años, En 1959, Guatemala fue pionero en América Latina al implantar con éxito un programa de yodación de sal a nivel nacional para controlar el bocio endémico, La prevalencia de bocio antes de la implantación de este programa era del 38%, En general se considera que cuando la prevalencia promedio de bocio es mayor del 10% constituye un problema de salud pública nacional. La efectividad de la medida pudo ser comprobada cuando, en 1965, una encuesta nacional de nutrición encontró que la prevalencia era del 5%. Sin embargo, la falta de un sistema permanente de vigilancia epidemiológica y de un control de calidad del proceso de fortificación de la sal con yodo - aunado a una falta de apoyo por los niveles de decisión política hizo que en

las décadas de 1970 y 1980 el problema reapareciera, y es así como evaluaciones realizadas en 1979 y 1987 mostraron una prevalencia promedio a nivel nacional de bocio endémico de 11 y 21%, respectivamente, en la población escolar.²²

Entre 1970 y 1972, Panamá, Honduras, El Salvador y Costa Rica iniciaron programas de yodación de sal, y lo mismo hizo Nicaragua en 1978, Evaluaciones del impacto de los programas realizados entre 1975 y 1981 en Nicaragua, Costa Rica y Panamá han revelado prevalencias de bocio endémico de 2, 3,5 y 6 %, respectivamente. Evaluaciones recientes sobre la prevalencia de bocio endémico y la situación de los programas de yodación de sal indican lo siguiente (entre paréntesis el año de la evaluación); Guatemala, 20,4% (1987); El Salvador, 25% (1990); Honduras 8,8% (1987); Nicaragua, 3,9% (1990); Costa Rica: Puntarenas, 3,7% y Guanacaste, 11,4% (1990); y Panamá, 13,2% (1991).²²

Como puede observarse, la prevalencia promedio de bocio endémico a nivel nacional en Guatemala, El Salvador y Panamá hacen que esta enfermedad constituya un problema de salud pública nacional en estos países. En Honduras y Nicaragua, si bien la prevalencia promedio nacional es menor del 10 por ciento, hay regiones y departamentos que presentan riesgos de severidad endémica, como lo es también el caso de la Provincia de Guanacaste en Costa Rica.²²

3.6.2. Estrategias para el control de las carencias de micronutrientes²⁰

El control de la desnutrición de vitaminas y minerales es una parte esencial del esfuerzo general para combatir el hambre y la desnutrición. Es necesario que los países adopten y apoyen un enfoque integral que aborde las causas de la desnutrición y del «hambre oculta» que con frecuencia se asocia de manera subyacente con la pobreza y con condiciones de vida insostenibles. Hay que apoyar acciones que promuevan y aumenten el suministro, el acceso, el consumo y la utilización de alimentos variados, en la cantidad y calidad adecuadas para todos los grupos de población. La meta es que todas las personas puedan obtener de su dieta toda la energía, los macronutrientes y micronutrientes que necesitan para poder disfrutar de una vida saludable y productiva.

Las respuestas políticas y programáticas incluyen estrategias alimentarias como diversificación de la alimentación y fortificación de alimentos, así como educación nutricional, medidas de salud pública e inocuidad de los alimentos y, finalmente, suplementación. Estos enfoques deberán ser

considerados como complementarios, dependiendo de la importancia relativa de las condiciones y las necesidades locales específicas.

De las tres opciones dirigidas a aumentar la ingesta de micronutrientes, los programas de suplementación con frecuencia mejoran más rápidamente el estado nutricional de las personas o grupos de población objetivo. La fortificación de alimentos tiende a tener un impacto menos inmediato, pero más amplio y sostenido. Aunque generalmente se considera que aumentar la diversidad de la alimentación es la opción más deseable y sostenible, toma más tiempo su ejecución.

3.7. Fortificación de Alimentos²⁴

La fortificación o enriquecimiento de alimentos es un proceso mediante el cual se añaden nutrientes esenciales a un alimento para mejorar su contenido nutricional. Su objetivo principal es prevenir deficiencias de nutrientes y mejorar la salud de la población, especialmente en aquellas áreas donde ciertos nutrientes son escasos en la dieta habitual. Su efectividad radica en fortificar alimentos básicos que sean consumidos por la mayor parte de la población.

En muchas situaciones, esta estrategia puede conducir a mejoras relativamente rápidas del estado nutricional a un costo bastante razonable, especialmente si se puede aprovechar la tecnología existente y las redes locales de distribución. Debido a que los beneficios son potencialmente considerables, la fortificación de alimentos puede ser una intervención de salud pública costoefectiva. Sin embargo, es necesario que el alimento fortificado se consuma en cantidades adecuadas por una gran proporción de la población objetivo.

La fortificación de alimentos se ha utilizado durante largo tiempo en los países industrializados para el control exitoso de las carencias de las vitaminas A y D, varias vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina y niacina), yodo y hierro. La yodación de la sal se introdujo al inicio de la década de 1920 en Suiza y en los Estados Unidos de América y desde entonces se ha ampliado progresivamente en todo el mundo de tal forma que ahora la sal yodada se utiliza en la mayor parte de los países.

3.7.1. Fortificación con yodo²⁰

Varios estudios, particularmente en el mundo desarrollado, han establecido claramente que la yodación de la sal es un medio efectivo para el control de la carencia de yodo. En Michigan, Estados Unidos, la yodación de la sal a gran escala redujo la prevalencia de bocio de cerca de 40% a menos de 10% (26). A principios del siglo XX, casi todos los niños en edad escolar de Suiza tenían bocio y 0,5% de la población padecía cretinismo.

Cuando en 1922 se introdujo la yodación de la sal, la prevalencia de bocio y la sordomudez en niños disminuyó dramáticamente. Desde entonces, un programa continuo de yodación de la sal ha asegurado un estado nutricional adecuado de yodo en toda la población suiza. A pesar de las pruebas convincentes a favor de la yodación de la sal, en 2003 se estimó que en 54 países aún existía un estado nutricional inadecuado del yodo (media del yodo urinario < 100µg/L).

3.7.2. Intervención en fortificación de alimentos en El Salvador²¹

El MINSAL consciente de los problemas nutricionales por deficiencia de micronutrientes, ha impulsado acciones conjuntas con diferentes sectores para la prevención y control de esta problemática, resultando de este esfuerzo, 5 alimentos fortificados con diferentes micronutrientes: azúcar con vitamina A, sal con yodo, harina de trigo, harina de maíz nixtamalizada y pastas alimenticias fortificadas con hierro, ácido fólico y vitaminas del complejo B.

Mediante esta intervención y otras implementadas por el MINSAL en la atención integral en salud y nutrición se ha logrado controlar y reducir la prevalencia de problemas nutricionales como la deficiencia de vitamina “A” y los desórdenes por deficiencia de yodo.

Para evaluar el impacto biológico de la intervención en fortificación de alimentos se han desarrollado varios estudios para la toma de decisiones en la sostenibilidad de la fortificación entre los que podemos mencionar, la encuesta de prevalencia en el año 1990 de bocio en escolares, la que reflejó un 24.8% de prevalencia de bocio a nivel nacional, siendo las regiones occidental y oriental del país las más afectadas con un 41 y 32% respectivamente, a partir de esto se mantiene se interviene la fortificación de la sal con yodo como una medida costo efectiva en el control de los desórdenes por deficiencia de yodo.

El MINSAL también realizó estudios de excreción urinaria de yodo en escolares como un indicador trazador; en el año de 1988 se encontró una mediana poblacional de excreción urinaria de yodo de 150 $\mu\text{g/L}$ y en otro estudio más reciente realizado en el 2012 reflejó que la mediana poblacional de concentración de yodo urinario a nivel nacional fue de 206 $\mu\text{g/L}$ por encima del valor normal que es 199 $\mu\text{g/L}$. Con lo anterior podemos afirmar que en el país no hay deficiencia de yodo, pero nos encaminamos a superar nuevos retos relacionados con el exceso de este micronutriente.

3.8. Reglamento Técnico Salvadoreño 67.06.01:13 Fortificación de alimentos.

Especificaciones. (Azúcar, sal, harina de maíz nixtamalizado y pastas alimenticias)⁶

La sal yodada debe cumplir con las especificaciones sensoriales y fisicoquímicas establecidas en la Tabla N° 8:

Tabla N° 8. Especificaciones sensoriales y fisicoquímicas de la sal yodada según Reglamento Técnico Salvadoreño Fortificación de alimentos. Especificaciones. (Azúcar, sal, harina de maíz nixtamalizado y pastas alimenticias) RTS 67.06.01:13. 2017.⁶

Características	Descripción
Aspecto	Forma de cristales de granulación uniformes, de acuerdo con el tipo y exento de materias extrañas
Color	Blanco
Olor	Característico
Sabor	Salado característico
Humedad máxima	8%
Cloruro de sodio (Sal molida) mínimo, sobre la sustancia seca y deducida al anti humectante	92%
Tabla N° 8 (continuación)	
Cloruro de sodio (Sal refinada) mínimo, sobre la sustancia seca y deducida al anti humectante	98.5%

Grado de turbiedad máximo (sal molida)	50%
Grado de turbiedad máximo (sal refinada)	25%
Contenido de yodo	Mínimo 20 mg/kg Máximo 60 mg/kg

- Fortificación

La producción de la premezcla para la fortificación de la sal debe prepararse mezclando el yodato de potasio y sal seca en una proporción de 1:9 (1 parte de yodato de potasio y 9 partes de sal). Contiene aproximadamente 60 g de yodo por kg de premezcla. Al diluir esta Premezcla de 1:1500 (1 saco de premezcla por 1500 sacos de sal) se obtiene una concentración de yodo de 40 mg/ Kg.

Cada lote de premezcla debe acompañarse de un certificado de calidad para garantizar que contenga valores de 9.5% a 10.5% de yodato de potasio.

La fortificación de la sal con yodo para consumo humano y animal debe contener un mínimo de 20 mg de yodo/kg y máximo de 60 mg de yodo/kg de sal.

- Envasado y etiquetado

La sal fortificada, debe envasarse en depósitos de primer uso para garantizar la calidad higiénica, nutritiva y sensorial del producto.

La premezcla se debe envasar en sacos de polipropileno u otro material inerte, de primer uso.

La sal fortificada debe etiquetarse de conformidad con lo establecido en el RTCA 67.01.07:10 Etiquetado General de los Alimentos Previamente envasados en su edición vigente, además la etiqueta debe tener la denominación “Sal Yodada”, su clasificación y marca comercial.

La etiqueta de la premezcla debe contener la siguiente información: Nombre del producto, Nombre del productor, Número de lote, Fecha de producción, Fecha de vencimiento, Nivel mínimo de yodato de potasio: 9.5% a 10.5% y la leyenda de advertencia, “ESTE PRODUCTO NO ES APTO PARA CONSUMO HUMANO Y ANIMAL” esta premezcla se convertirá en sal

yodada apta para consumo animal al diluirla en la proporción 1:1500 es decir un saco de premezcla por 1500 sacos de sal.

- Método de Análisis

Para determinar las características físicas y químicas de la sal, se deben utilizar los métodos oficiales o internacionalmente aceptados, según lo descrito en la Tabla N° 9:

Tabla N° 9. Métodos de análisis para la sal según Reglamento Técnico Salvadoreño Fortificación de alimentos. Especificaciones. (Azúcar, sal, harina de maíz nixtamalizado y pastas alimenticias)

RTS 67.06.01:13. 2017.⁶

Especificaciones	Método
Humedad %	AOAC Cap. 27, método 935. 23 Ed. 17.2000
Sustancias insolubles en agua máximo	NORMA SANITARIA DE ALIMENTOS Tomo 3, pág. 1138 1er Ed. Dic./1967
Cloruro de sodio %	ICAITI 34 026 h3
mg Yodo/ Kg	AOAC 925. 56, cap. 11, pág. 32 Ed. 17. 2000
Grado de turbiedad máximo	NORMA SANITARIA DE ALIMENTOS. Tomo III pág. 1138 (OFSAMPAM) 1er Ed. Dic./1967
Arsénico	AOAC 957.22 Cap. 5 pág. 5 Ed. 17. 2000
Cobre	AOAC 999.10 Cap. 9 pág. 16 Ed. 17. 2000
Plomo	AOAC 934.07 Cap. 9 pág. 33 Ed. 17. 2000
Cadmio	AOAC 986.15 Cap. 9 pág. 1 Ed. 17. 2000
Mercurio	AOAC 971.21 Cap. 9 pág. 35 Ed. 17. 2000

3.9. Norma Salvadoreña Obligatoria 67.20.01:05. Sal fortificada con yodo²⁵

Esta norma aplica a toda la sal producida y comercializada en el país para consumo humano y animal, así como a la sal importada o donada.

3.9.1. Tipos de sal²⁵

La sal, de acuerdo con sus características de pureza y granulación, está clasificada en:

- Sal gruesa o sal gorda: producto no beneficiado cuyos cristales deberán pasar totalmente por el tamiz N° 3 (6,73 mm de abertura).
- Sal molida: producto obtenido por la molienda de sal gruesa o sal gorda, cuyos cristales deberán pasar por el tamiz N° 16 (1 mm de abertura).
- Sal refinada: producto beneficiado con eliminación de sales higroscópicas de magnesio y calcio, impurezas orgánicas, arena y fragmentos de concha; los cristales deberán pasar totalmente por el tamiz N° 20 (0,841 mm de abertura) y 25% por lo mínimo deberán pasar por el tamiz N° 60 (0,25 mm de abertura)
- Sal de mesa: es la sal refinada, a la que la añaden anti-humectantes.

3.9.2. Características físicas y químicas²⁵

Las características físicas y químicas que debe cumplir la sal según su tipo se mencionan en la tabla N° 10.

Tabla N° 10. Características físicas y químicas de la sal según Norma Salvadoreña Obligatoria. Sal fortificada con Yodo. NSO 67.20.01:05; 2002.²⁵

Características	Sal molida	Sal refinada	Sal de mesa
Granulaciones	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 16 (1 mm de abertura)	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 20 (0,841 mm de abertura) y en lo mínimo 25% deben pasar por un tamiz N° 60 (0,25 mm de abertura)	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 20 (0,841 mm de abertura) y en lo mínimo 25% deben pasar por un tamiz N° 60 (0,25 mm de abertura)

Tabla N° 10. (Continuación)

Humedad a 105 - 110 °C máximo	3%	2%	0,5%
Sustancias insolubles en agua máximo	3%	0,2%	0,2% (excluido el antihumectante)
Cloruro de sodio (Sobre la sustancia seca y deducida del antihumectante) mínimo	96.5%	98.5%	98.5%
Antihumectantes máximo	-	-	2%
Grado de turbiedad máximo	50	25	25
Contenido de Yodo	Mínimo 30 mg/kg - Máximo 100 mg/kg		
Arsénico	No más de 0,5 mg/kg expresado como As		
Cobre	No más de 2,0 mg/kg expresado como Cu		
Plomo	No más de 2,0 mg/kg expresado como Pb		
Cadmio	No más de 0,5 mg/kg expresado como Cd		
Mercurio	No más de 0,1 mg/kg expresado como Hg		

CAPÍTULO IV

4.0 PRODUCTO FINAL

1. TÍTULO DE LA PRÁCTICA

Determinación cuantitativa del yodo presente en la sal fortificada mediante método volumétrico,

2. INTRODUCCIÓN

El yodo es un elemento natural o mineral que se encuentra en el agua de mar y en ciertas rocas y sedimentos. Hay formas radiactivas y no radiactivas de yodo. El yodo se usa como desinfectante para limpiar superficies y envases para almacenaje, en jabones para la piel y en vendajes y para purificar agua.¹

El yodo es un mineral también presente en algunos alimentos. El cuerpo humano necesita yodo para producir hormonas tiroideas. Estas hormonas controlan el metabolismo del cuerpo y muchas otras funciones importantes. El cuerpo también necesita las hormonas tiroideas para el desarrollo apropiado de los huesos y el cerebro durante el embarazo y la infancia. El consumo de yodo en cantidades suficientes es importante para todos, en especial, para los bebés y las embarazadas.²

El yodo también se agrega a la sal yodada o fortificada, con el propósito de asegurar que todas las personas tengan la cantidad necesaria dentro de su dieta. Entre los alimentos que naturalmente contienen yodo se encuentran el pescado, algas marinas, camarones y otros mariscos, que en general contienen mucho yodo, también los productos lácteos como leche, yogur y queso, al igual que huevos que también son buenas fuentes de yodo.²

Las personas que no consumen suficiente yodo no producen cantidades suficientes de la hormona tiroidea. Esto puede causar muchos problemas. En las embarazadas, la deficiencia grave de yodo podría ocasionar daños permanentes al feto, como retrasos en el crecimiento, discapacidad intelectual y desarrollo sexual tardío. Una deficiencia de yodo menos grave puede dar lugar a un coeficiente intelectual inferior al normal en bebés y niños y reducir la capacidad de los adultos para trabajar y pensar con claridad. El bocio, un aumento del tamaño de la glándula tiroidea, suele ser el primer signo visible de la deficiencia de yodo.²

Se ha establecido una recomendación para yodo en la dieta (RDA) de 150 microgramos al día (150 µg/día), con cantidades adicionales de 25 µg/día durante el embarazo y 50 µg/día durante la lactancia. Este consumo diario a través de la dieta es suficiente para satisfacer los requisitos metabólicos del cuerpo.¹

3. OBJETIVOS

- Comprender los fundamentos del método de volumetría para la determinación cuantitativa del yodo presente en la sal fortificada.
- Determinar cuantitativamente el yodo como yodato de potasio presente en tres marcas comerciales elegidas por el estudiante de sal molida fortificada mediante el método de AOAC 925.56
- Comparar los resultados obtenidos del contenido de yodo en las muestras analizadas con respecto al rango establecido por la NORMA SALVADOREÑA SAL FORTIFICADA CON YODO NSO 67.20.01:05 para Contenido de Yodo para los tres tipos de sal.

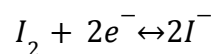
4. TIPO DE MÉTODO DE ANÁLISIS Y FUNDAMENTO

VOLUMETRÍA²

El procedimiento general y esencial empleado en los métodos volumétricos de análisis se denomina Valoración y se pueden definir como el procedimiento operativo consistente en hacer reaccionar la sustancia que se cuantifica (analito) convencionalmente disuelta en un disolvente adecuado, con una disolución de concentración exactamente conocida que se adiciona desde una bureta, a la disolución de concentración exactamente conocida se llama Patrón Valorante y a la Disolución del analito que se determina se le conoce como sustancia a valorar.

Yodometría²

El método yodométrico de análisis se basa en los procesos de oxidación reducción relacionados con la reducción de I₂ a iones I⁻ o la oxidación de iones I⁻ a I₂, según:



El potencial normal del par $I_2/2I^-$ es relativamente pequeño (+0,54 V). De aquí se deduce que a diferencia de los oxidantes más utilizados y anteriormente mencionados ($KMnO_4$ y $K_2Cr_2O_7$), el I_2 libre es un oxidante relativamente débil. Por el contrario, los iones I^- actúan como un reductor mucho más fuerte que los iones Cr^{3+} y Mn^{2+} .

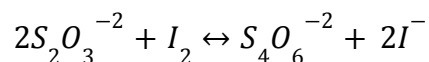
La posición del par $I_2/2I^-$ que se halla aproximadamente en el centro de la tabla de potenciales normales de reducción, permite realizar dos consideraciones importantes:

- Existen una serie de reductores que pueden ser oxidados por el I_2 libre, es decir, todos aquellos cuyo potencial normal de reducción es menor que +0,54 V.
- Existen también varios oxidantes capaces de ser reducidos por los iones I^- , todos los cuales poseen un potencial normal de reducción mayor que +0,54 V.

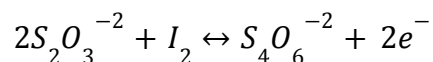
En resumen, puede plantearse que el par $I_2/2I^-$ puede ser empleado como agente oxidante o reductor en dependencia de las características redox de la especie con la cual se haga reaccionar, de manera que la yodometría puede ser empleada tanto en la determinación de reductores como en la determinación de oxidantes.

Determinación de reductores²

Si el I_2 libre se pone a reaccionar con una disolución de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) se produce la siguiente reacción:



De la ecuación iónica de esta reacción se denota que dos iones tiosulfato ($S_2O_3^{-2}$) se transforman en un ion tetratonato ($S_4O_6^{-2}$) cediendo a la molécula de I_2 dos electrones conforme al esquema:



La estructura de la reacción se puede representar así según la figura N° 6:

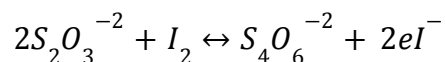


Figura N° 6. Estructura de la reacción de determinación de reductores²

Así, la masa molar del equivalente del tiosulfato de sodio es $2 \times 248,2/2 = 248,2$ g/mol (de acuerdo con la fórmula $\text{NaS}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), o sea a pesar de que el número de equivalencia del tiosulfato es igual a dos, como se trata de dos moles de $\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$, la masa molar de esta sustancia es igual a su masa molar equivalente. Para el caso del yodo, el número de equivalente es igual a 2I^- , puesto que el I_2 gana 2 electrones en su reducción a 2I^- por lo que su masa molar del equivalente es igual al peso atómico relativo del elemento I, es decir 126,9 g/mol.

Durante la valoración de la disolución de NaS_2O_3 con la disolución de yodo (estando este último en la bureta), el color pardo oscuro propio del yodo desaparece instantáneamente al hacer contacto con la disolución de NaS_2O_3 debido a su reducción a 2I^- (el cual es incoloro). Sin embargo, cuando la totalidad de NaS_2O_3 sea oxidado, una gota excedente de la disolución de yodo (I_2) coloreará el líquido que se valora de amarillo pálido. Por consiguiente, en este caso pudiera pensarse que, al igual que en la permanganometría, se puede valorar sin indicador; sin embargo, el color del yodo que se obtiene al aproximarse al punto final de la valoración es muy pálido, lo que dificulta la determinación del punto de equivalencia. Por eso es mucho más cómodo utilizar como indicador una disolución de almidón, pues el almidón forma con el yodo

un complejo de adsorción de color azul intenso. En este caso (con la disolución de yodo en la bureta) el punto final de la valoración se determina por la aparición de un color azul al añadir una gota en exceso de la disolución de yodo. La reacción general que tiene lugar es:



Este procedimiento puede realizarse también de forma inversa (con la disolución de I_2 en el Erlenmeyer y la disolución de NaS_2O_3 en la bureta). En este caso el punto final de la valoración se detectará por la desaparición del color azul dada la ruptura del complejo I_2 -almidón cuando todo el I_2 haya sido reducido por adición de la disolución de NaS_2O_3 .

En este caso, que es el más común en el análisis de los alimentos, el indicador de almidón debe adicionarse casi al final de la valoración, cuando quede muy poca cantidad de I_2 y la disolución que se valora tenga un color pálido (amarillo pajizo). Si en almidón se agrega desde el principio, cuando en la disolución hay todavía mucho I_2 , el complejo de I_2 -almidón, que es muy estable y se forma en gran cantidad, reacciona muy lentamente con el tiosulfato por lo que se requerirá un exceso de este último para reducir el I_2 a I^- y decolorar la disolución trayendo como resultado una sobrevaloración.

Entre las múltiples aplicaciones de este procedimiento en el análisis de los alimentos se encuentra la determinación del índice de yodo en aceites y grasas comestibles. En esta determinación se añade a una porción exactamente pesada de aceite o grasa, previamente disuelta en un solvente orgánico adecuado, una cantidad exactamente medida de una disolución que contenga iones I_2 , los cuales se adicionaran electrofílicamente a los dobles enlaces de los ácidos grasos que conforman los glicéridos de los aceites y grasas según la siguiente reacción general (figura N° 8):



Figura N° 7. Fórmula para determinación del índice de yodo en aceites y grasas comestibles²

El yodo en exceso (que no se adicionó a los dobles enlaces) se valora entonces por retroceso con disolución estandarizada de NaS_2O^3 en presencia de almidón como indicador hasta la desaparición del color azul, según todas las consideraciones ya explicadas con anterioridad.

La determinación del índice de yodo reviste una gran importancia en la caracterización de aceites y grasas comestibles puesto que brinda información sobre el grado de instauración de los ácidos grasos que forman parte de estos importantes nutrimentos.

PRINCIPIO³

El yodo se agrega a la sal en forma de yodato de potasio (KIO_3). Para determinar la concentración del yodato adicionado, la sal se disuelve en una solución ligeramente ácida a la cual se le ha agregado un exceso de yoduro de potasio (KI). El yodato de la sal reacciona con el yoduro (I^-) para formar yodo (I_2) y triyoduro (I_3^-) el cual es muy soluble en agua. Se forma un color amarillo. Si se agrega una solución de almidón, se forma un complejo coloreado con el triyoduro. La cantidad de yodo en solución se determina por una titulación colorimétrica con una solución patrón de tiosulfato de sodio, la cual reacciona con el yodo, desapareciendo el color azul. El punto final se determina visualmente por la desaparición del color azul cuando no hay más yodo presente.

5. INFORMACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA

Tipo de matriz

Cloruro de sodio cristalizado (sal fortificada)

Información del muestreo

Las muestras se obtendrán de un supermercado del departamento de San Salvador, El Salvador eligiendo aleatoriamente tres marcas comerciales diferentes de sal molida fortificada con yodato de potasio de una libra cada una. Las muestras recolectadas se identificarán de la siguiente manera:

Nombre:	
---------	--

Lugar de obtención:	
Fecha:	
Peso neto:	
Número de lote:	
Fecha de vencimiento:	
Observaciones:	

Figura N° 8. Etiqueta recomendada para información sobre el muestreo.

Fuente: Elaboración propia

Forma de almacenamiento de la muestra

Las muestras recolectadas serán identificadas y resguardadas en bolsas herméticas con cierre y colocadas en una hielera seca y libre de humedad, para ser trasladadas a la Facultad de Química y Farmacia de La Universidad de El Salvador para su posterior análisis.

6. REACTIVOS⁴

- Solución de tiosulfato de sodio 0.005N
- Solución de almidón 1%
- Yoduro de potasio 10% p/v
- Solución de ácido sulfúrico 2N
- Solución de yodato de potasio al 0.005N

7. MATERIALES Y EQUIPOS⁴

- Balones volumétricos de 100 mL y 500 mL
- Beakers o vasos de precipitado (200-500 mL)
- Buretas o pipetas graduadas (para medir 10-50 mL)
- Agitadores de vidrio
- Probeta graduada (50 mL)
- Pipeta graduada de 50 mL
- Recipientes calibrados para pesar aproximadamente 10 g de sal

- Pipetas graduadas de 1 mL a 5 mL
- Espátulas
- Propipeta
- Cronómetro

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES⁴

Solución de tiosulfato de sodio 0.005 N: Disuelva 1.24 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en un litro de agua destilada y almacene en un lugar fresco y seco. La solución es estable por un mes. Esta cantidad es suficiente para aproximadamente 200 muestras.

Nota: La solución de tiosulfato se puede estandarizar por titulación con una solución patrón de yodato de potasio-0.005N. Esta solución se prepara a partir de una solución de yodato de potasio-0.5 N. Para esto, se disuelven 4.4585 g de yodato de potasio grado analítico y se afora a 250 mL. La solución 0.5N se diluye 1:100 tomando 2.5 mL y diluyendo a 250 mL con agua destilada. La normalidad de la solución de tiosulfato será: $(\text{volumen de la solución de } \text{KIO}_3) / (\text{volumen de la solución de tiosulfato}) \times \text{normalidad de la solución de yodato (0.005 N)}$.

Solución de almidón 1%: Pese 1 g de almidón soluble en un beaker de 100 mL y agregue 10 mL de agua. Caliente hasta disolver. Prepare una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl) disolviendo NaCl en 80mL de agua destilada. Caliente la solución hasta que no más NaCl se disuelva. Enfríe la solución y agréguela a la solución de almidón y afora a 100 mL. Almacene en un lugar fresco y oscuro. Esta cantidad alcanza para el análisis de aproximadamente 50 muestras. Prepare la solución de almidón cada día. La solución saturada de NaCl es estable por 12 meses.

Yoduro de potasio 10% p/v: Disuelva 100 g de yoduro de potasio en agua y afora a 1L. Almacene en un lugar fresco y oscuro. Esta solución es estable por 6 meses siempre y cuando no observe ningún cambio de color. Esta cantidad es suficiente para aproximadamente 200 muestras.

Solución de ácido sulfúrico 2 N: Lentamente agregue 60 mL de ácido sulfúrico concentrado a 900 mL de agua destilada y mezclar cuidadosamente. Deje enfriar la solución y aforar a 1L. Esta cantidad es suficiente para aproximadamente 1,000 muestras.

El agua que se utilice para la preparación de las soluciones debe ser destilada.

8. PROCEDIMIENTO⁴

Preparación de la muestra de sal molida fortificada

1. Mezcle bien el contenido de cada bolsa de sal. Pesar 50 g de cada muestra y disuelva con agua destilada en un beaker de 250 mL. Transfiera la solución a un balón volumétrico de 250 mL y afore.
2. Con una pipeta de 50 mL, transfiera 50 mL de la solución de sal a un Erlenmeyer de 200 mL.
3. Con una pipeta graduada, agregue 1 mL de la solución de ácido sulfúrico 2 N y mezcle vigorosamente.
4. Agregue 5 mL de la solución de yodato de potasio-10% usando una probeta o pipeta. Se formará una solución amarilla si la muestra contiene yodo.
5. Cubra el Erlenmeyer y colóquelo en la oscuridad por 10 minutos.

Titulación de yodo en la solución de sal

1. Llene la bureta de 50 mL con la solución de tiosulfato.
2. Titule la solución de yodo en un balón con el tiosulfato y detenga la titulación cuando el color amarillento de la solución cambie a amarillo pálido. Agite la solución de sal continuamente.
3. Agregue 2 mL de la solución de almidón y la solución debería tomar un color azul oscuro. Agite.
4. Continúe la titulación con tiosulfato hasta que el color azul oscuro desaparezca. Agite la solución de sal suavemente y de forma continua.
5. Anote el volumen de la bureta o la pipeta serológica de la forma más precisa posible.
6. Preparar un blanco de reactivos con 50 mL de agua destilada desionizada siguiendo el mismo procedimiento.

9. CÁLCULOS INVOLUCRADOS

El yodo en mg/kg se calculará como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Yodo\left(\frac{mg}{kg}\right) = \frac{0.005 N Na_2S_2O_3 \times V Na_2S_2O_3 (mL) \times 21.222 (eq.g l) \times}{(P)0.05 kg} \times FD\left(\frac{250 mL}{50 mL}\right)$$

Donde:

N (Na₂S₂O₃): normalidad del tiosulfato de sodio

V (Na₂S₂O₃): volumen gastado de tiosulfato de sodio 0.005 N – volumen de blanco

eq.g: peso equivalente del yodo

P: peso seco de sal

FD: factor de dilución (5)

La ecuación puede simplificarse de la siguiente manera:

$$10.61 \times \text{volumen gastado de } Na_2S_2O_3$$

10. NORMATIVAS NACIONALES O INTERNACIONALES A UTILIZAR, PARA PODER INTERPRETAR LOS RESULTADOS

Norma salvadoreña de sal fortificada con yodo NSO 67.20.01:05. Características físicas y químicas.⁵

Tabla N° 10. Características físicas y químicas de la sal.⁵

Características	Sal Molida	Sal Refinada	Sal de Mesa
Granulaciones	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 16 (1 mm de abertura)	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 20 (0,841 mm de abertura) y en lo mínimo 25% deben pasar por un tamiz N° 60 (0,25 mm de abertura)	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 20 (0,841 mm de abertura) y en lo mínimo 25% deben pasar por un tamiz N° 60 (0,25 mm de abertura)
Humedad a 105 - 110 °C máximo	3%	2%	0.5%

Substancias insolubles en agua máximo	3%	0,2%	0,2% (excluido el antihumectante)
Cloruro de sodio (Sobre la sustancia seca y deducida del antihumectante) mínimo	96.5%	98.5%	98.5%
Antihumectantes máximo	---	---	---
Grado de turbiedad máximo	50	25	25
Contenido de Yodo para los tres tipos de sal	Mínimo 30 mg/kg - Máximo 100 mg/kg		
Arsénico	No más de 0,5 mg/kg expresado como As		
Cobre	No más de 2,0 mg/kg expresado como Cu		
Plomo	No más de 2,0 mg/kg expresado como Pb		
Cadmio	No más de 0,5 mg/kg expresado como Cd		
Mercurio	No más de 0,1 mg/kg expresado como Hg		

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Yodo (Iodine) [Internet]. ATSDR. 2021. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts158.html
2. Hector, Z. Análisis Químico de los Alimentos. 2da Edición. 2022
3. Yodo [Internet]. NIH.gov. Disponible en: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Iodine-DatosEnEspanol/>
4. AOAC Official Method 925.56, Iodine in Iodized salt, Titrimetric Method, Vol 1:2016.
5. Norma Salvadoreña Obligatoria. Sal fortificada con Yodo. NSO 67.20.01:05; 2002.

CAPÍTULO V

5.0 CONCLUSIONES

1. La elaboración de una práctica de laboratorio específica para la determinación cuantitativa de yodo en muestras de sal fortificada, mediante volumetría, constituye una herramienta fundamental para garantizar la precisión y reproducibilidad del análisis. Este procedimiento permite cuantificar de manera confiable el contenido de yodo en sal fortificada, asegurando el cumplimiento de los valores de referencia establecidos en la normativa nacional. La implementación de esta metodología no solo favorece la verificación del cumplimiento de la fortificación de la sal con yodo, sino que también fortalece el desarrollo de competencias analíticas, promoviendo prácticas estandarizadas para el control de micronutrientes esenciales en la alimentación.
2. La identificación de los valores de referencia actuales del contenido de yodo en la sal fortificada es fundamental para garantizar una ingesta adecuada de este micronutriente esencial y prevenir enfermedades asociadas a su deficiencia, como el bocio endémico y el hipotiroidismo. El cumplimiento de estos valores, establecidos en la normativa nacional, asegura que la población reciba las cantidades necesarias de yodo para el correcto funcionamiento de la glándula tiroidea y otros procesos biológicos clave. Asimismo, la verificación del contenido de yodo en la sal fortificada permite evaluar la eficacia de las políticas de fortificación y detectar posibles desviaciones que podrían comprometer la salud pública. Por ello, es crucial realizar con estudios periódicos que garanticen el cumplimiento de la normativa y promuevan estrategias de control de calidad en la producción y distribución de este producto de consumo masivo.
3. La investigación sobre los riesgos y efectos negativos asociados a una ingesta elevada o deficiente de yodo en el cuerpo humano resalta la importancia de mantener un equilibrio en su consumo. Aunque el yodo es un micronutriente esencial para la síntesis de hormonas tiroideas, su exceso puede generar alteraciones en la función tiroidea, como hipertiroidismo, tiroiditis autoinmune o incluso disfunción tiroidea inducida por yodo en poblaciones vulnerables, además el consumo excesivo y prolongado de yodo puede

afectar otros sistemas del organismo, provocando síntomas como alteraciones gastrointestinales, dermatitis y, en casos extremos, toxicidad severa. Estos hallazgos subrayan la necesidad de un monitoreo riguroso de la fortificación de la sal y otras fuentes dietéticas de yodo para evitar deficiencias sin exceder los niveles recomendados. Por lo tanto, es esencial que las políticas de salud pública y las regulaciones alimentarias aseguren que la ingesta de yodo se mantenga dentro de los rangos establecidos, promoviendo un consumo balanceado que prevenga tanto la deficiencia como la toxicidad de este elemento.

4. La esquematización a través de una estructura detallada de la práctica proporciona una guía clara para la preparación de reactivos, la estandarización de la solución titulante, la preparación de la muestra, su titulación y para el control de los puntos críticos de la técnica analítica. Esto facilita su aplicación en entornos académicos y de investigación, contribuyendo a la formación de futuros profesionales en el área de análisis químico y control de calidad.

CAPÍTULO VI

6.0 RECOMENDACIONES

A los organismos normativos que desarrollan regulaciones que involucran análisis químicos de alimentos, a promover el desarrollo de prácticas de laboratorio homologadas a las condiciones de El Salvador, en conjunto con las instituciones educativas o centro especializados, de tal forma que así como surgen las normas, al mismo tiempo se establezcan los medios de control a través de contar con prácticas de laboratorio y procesos analíticos validados con el fin de asegurar la salud de la población salvadoreña.

A las autoridades correspondientes de la vigilancia y verificación de la NSO 67.20.01:05 a continuar e intensificar los medios de control para el cumplimiento de los valores de referencia del yodo en sal fortificada comercializada en El Salvador, con el fin de asegurar a la población el contenido de yodo para los tres tipos de sal establecido en la normativa salvadoreña y aportar al control de los desórdenes por deficiencia de yodo (DDI).

A los estudiantes y especialistas de la Universidad de El Salvador que desarrollen esta práctica, incentivarlos a la validación de este método analítico, evaluando los parámetros de desempeño del método con el fin de asegurar que la elaboración de la práctica planteada en este trabajo es apropiada para la determinación del contenido de yodo en sal fortificada y que tan confiable es el método con respecto a otros que puedan incluir la utilización de equipos automatizados.

A los estudiantes y especialistas de la Universidad de El Salvador a ampliar las investigaciones sobre el efecto que tienen las condiciones ambientales de almacenamiento y transporte sobre las muestras de sal fortificadas con yodo, ya que este es un compuesto sensible y con tendencia a evaporarse a altas temperaturas.

A los organismos de salud de El salvador a identificar zonas o poblaciones vulnerables en deficiencias de nutrientes como el yodo, de tal forma que se puedan orientar esfuerzos para erradicar la deficiencia en yodo, evitando graves efectos negativos sobre la salud.

A la población salvadoreña a consumir sal yodada de lugares que cumplen las medidas sanitarias para comercialización de alimentos, en donde el producto se encuentre en su envase original, debidamente etiquetado y no haya sido fraccionado.

A los fabricantes y comercializadores de sal fortificada en El Salvador a cumplir estrictamente las Buenas Prácticas de Manufactura, Buenas Prácticas de Almacenamiento y Buenas Prácticas de Distribución, que garanticen un producto de calidad, cumpliendo las características físicas, químicas y sanitarias de la sal fortificada para consumo humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Real Academia Española (RAE). Diccionario de la Lengua Española. Edición del tricentenario. 2023. [Internet] Disponible en: <https://dle.rae.es/contenido/actualizaci%C3%B3n-2023>.
2. National Institutes of Health - NIH. Datos sobre el yodo. Dep Heal Hum Serv [Internet]. 2022;3. Disponible en: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Iodine-DatosEnEspaol/>
3. Enfermedad de Graves [Internet]. Medlineplus.gov. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000358.htm>
4. Tiroiditis crónica (Enfermedad de Hashimoto) [Internet]. Medlineplus.gov. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000371.htm>
5. Boucai L. Síndrome del enfermo eutiroideo [Internet]. Manual MSD versión para profesionales. Disponible en: <https://www.msdmanuals.com/es/professional/trastornos-endocrinol%C3%B3gicos-y-metab%C3%B3licos/trastornos-tiroideos/s%C3%ADndrome-del-enfermo-eutiroideo>
6. Reglamento Técnico Salvadoreño Fortificación de alimentos. Especificaciones. (Azúcar, sal, harina de maíz nixtamalizado y pastas alimenticias) RTS 67.06.01:13. 2017.
7. Latham C. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. [Internet]. Roma. Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29. 2002. Disponible en: <https://www.fao.org/4/w0073s/w0073s00.htm#Contents>
8. Grupo Gamma. Nutrientes ¿Qué son?, ¿Dónde están?, ¿Para qué sirven? [Internet]. Grupo Gamma.2015. Disponible en: <https://www.grupogamma.com/nutrientes-que-son-donde-estan-para-que-sirven/>
9. Mela G, Suárez R. Elaboración de la tabla de composición química de alimentos industrializados que se expenden en las ciudades de Quito y Daule. Parte I. 2014. [Tesis de grado]. Ibarra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte; 2014.
10. Marino A. MACRONUTRIENTES [Internet]. CalisteniaNET. 2019. Disponible en: <https://www.calistenia.net/calcular-macronutrientes/>

11. Vásquez A. Correlación entre estado nutricional de micronutrientes y la inflamación en niñas y niños con desnutrición crónica en San Felipe, Retalhuleu. [Tesis de maestría]. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala; 2019.
12. Lucio M. Análisis bromatológico proximal y determinación de minerales en ajonjolí (*sesamun indicum*), cultivado en la estación experimental y de prácticas de la universidad de El Salvador. [Tesis de maestría]. El Salvador. Universidad de El Salvador; 2023.
13. Gutiérrez E. Elaboración de un queso funcional enriquecido con magnesio. [Tesis de Maestría]. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.; 2016.
14. Ropero A. Minerales. [Internet]. Universitas Miguel Hernández. Badali. Disponible en: <https://badali.umh.es/assets/documentos/pdf/artic/minerales.pdf>
15. Bonilla H, Monterrosa L. Evaluación del contenido de yodo total en muestras de sal molida a granel comercializada en El Salvador. [Tesis de Licenciatura]. San Salvador, El Salvador. Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer; 2013.
16. Muñoz A. Ingesta y situación nutricional de la población adulta española en relación al yodo. [Tesis Doctoral]. Madrid. Universidad Complutense de Madrid; 2022.
17. Valores de referencia de hierro, yodo, zinc, selenio, cobre, molibdeno, vitamina C, vitamina E, vitamina K, carotenoides y polifenoles para la población venezolana [Internet]. Alanrevista.org. Disponible en: <https://www.alanrevista.org/ediciones/2013/4/art-10/>
18. Morán S. Validación del método titrimétrico para la cuantificación de yodo en sal y el método espectrofotométrico para la cuantificación de nitritos en productos cárnicos. [Tesis de licenciatura]. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador; 2024.
19. Flores A, Monge L, Solórzano D. Estudio de factibilidad para la implementación de una planta procesadora de sal en el municipio de Pasaquina, La Unión. [Tesis de Ingeniería]. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador; 2023.
20. Allen EPL, de Benoist B, Dary y Richard Hurrell O. Guías para la fortificación de alimentos con micronutrientes [Internet]. OMS. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/255541/9789243594019-spa.pdf>
21. [06-12-2016] Taller Nacional Intersectorial para el Control de las Deficiencias Nutricionales por Micronutrientes [Internet]. MINSAL. Disponible en:

<https://w5.salud.gob.sv/01-12-2016-taller-nacional-intersectorial-para-el-control-de-las-deficiencias-por-micronutrientes/>

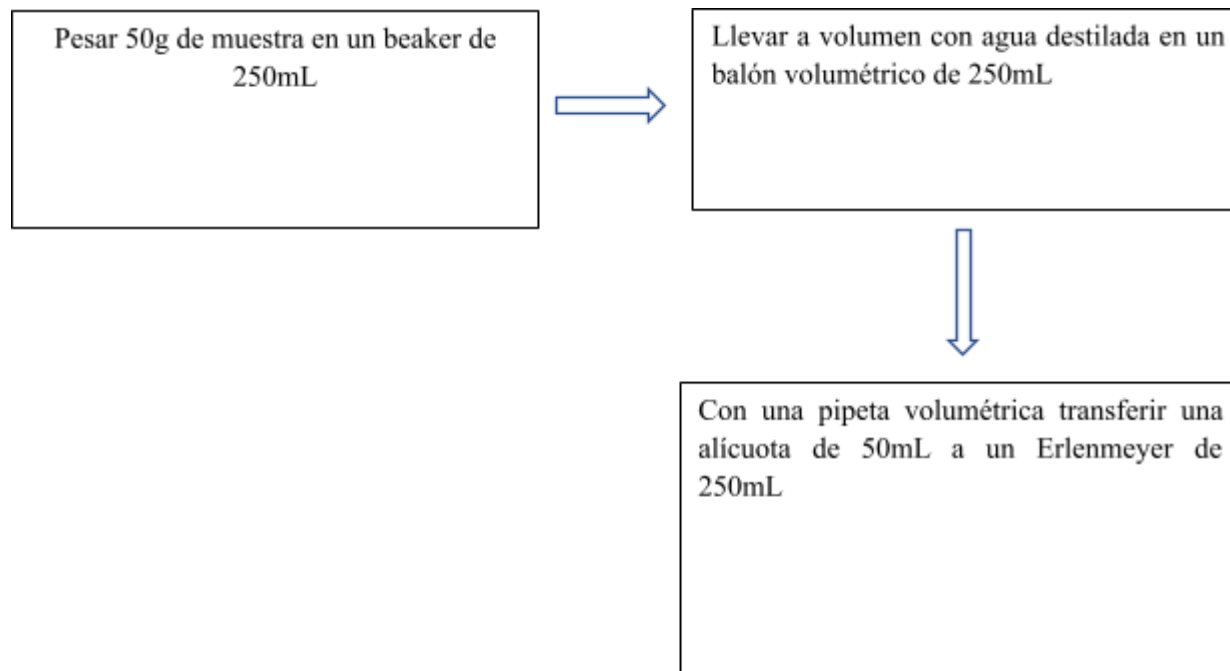
22. Alimentación, nutrición y agricultura - Estrategias para combatir las carencias de micronutrientes. [Internet]. FAO - 7 - 1993. Disponible en: <https://www.fao.org/4/v1610t/v1610t00.htm#Contents>
23. Morán SL. Validación del método titrimétrico para la cuantificación de yodo en sal y el método espectrofotométrico para la cuantificación de Nitritos en productos cárnicos. [Tesis de Licenciatura]. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador; 2024.
24. Reglamento Técnico Salvadoreño Fortificación de alimentos. Especificaciones. (Azúcar, sal, harina de maíz nixtamalizado y pastas alimenticias) RTS 67.06.01:13. 2017.
25. Norma Salvadoreña Obligatoria. Sal fortificada con Yodo. NSO 67.20.01:05; 2002.
26. AOAC Official Method 925.56, Iodine in Iodized salt, Titrimetric Method, Vol 1:2016.

ANEXOS

ANEXO N°1

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

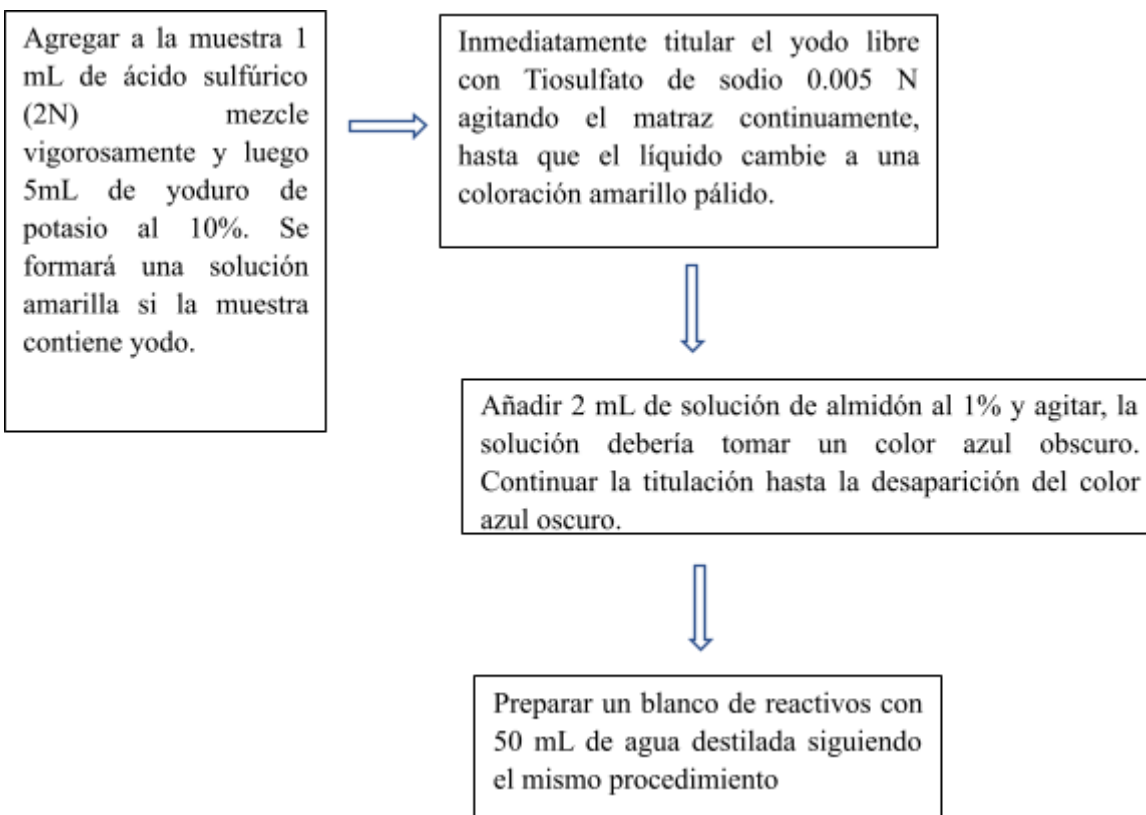
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL YODO PRESENTE EN LA SAL FORTIFICADA MEDIANTE LA TÉCNICA DE VOLUMETRÍA.



ANEXO N°2

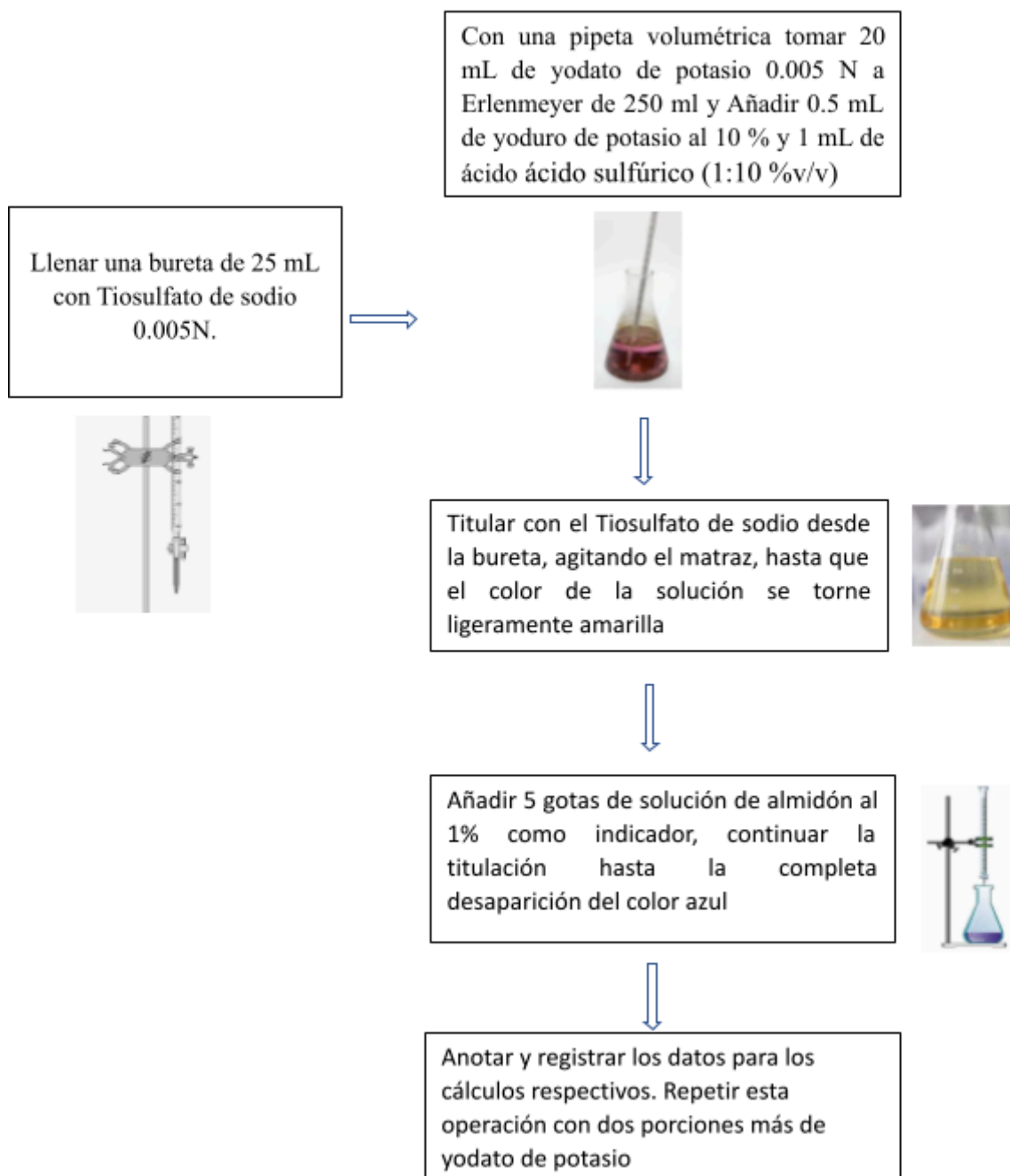
ANÁLISIS DE LA MUESTRA

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL YODO PRESENTE EN LA SAL FORTIFICADA MEDIANTE LA TÉCNICA DE VOLUMETRÍA.



ANEXO N°3

ESTANDARIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN VALORANTE. DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL YODO PRESENTE EN LA SAL FORTIFICADA MEDIANTE LA TÉCNICA DE VOLUMETRÍA.



Cálculos:

$$\text{Normalidad del KIO}_3 = \frac{(\text{peso exacto} \times 1000\text{mL})}{(\text{peso equivalente del KIO}_3)}$$

$$\text{Normalidad del tiosulfato de sodio} = \frac{(\text{Vol KIO}_3 \times \text{Normalidad del KIO}_3)}{(\text{Vol del tiosulfato de sodio})}$$

Donde:

Normalidad del KIO_3 es la normalidad antes calculada.


Vol KIO_3 es el volumen de yodato de potasio empleado

Vol del tiosulfato de sodio es la cantidad gastada en la valoración.

ANEXO N°4

NORMA SALVADOREÑA NSO 67.20.01:05

SAL FORTIFICADA CON YODO.

NORMA
SALVADOREÑA


NSO 67.20.01:05

SAL FORTIFICADA CON YODO

CORRESPONDENCIA :Esta norma es una adaptación de la Propuesta de Norma para la Sal Yodada. Ministerio de Salud, El Salvador. Octubre de 2002.

ICS 67.220.20

Editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, Colonia Médica, Avenida Dr. Emilio Álvarez, Pasaje Dr. Guillermo Rodríguez Pacas, # 51, San Salvador, El Salvador, Centro América. Teléfonos:226- 2800, 225- 6222; Fax. 225-6255; e-mail: info@conacyt.gob.sv.

Derechos Reservados.

INFORME

Los Comités Técnicos de Normalización del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, son los organismos encargados de realizar el estudio de las normas. Están integrados por representantes de los sectores: Productor, Gobierno, Organismo de Protección al Consumidor y Académico Universitario.

Con el fin de garantizar un consenso nacional e internacional, los proyectos elaborados por los Comités se someten a un período de consulta pública durante el cual puede formular observaciones cualquier persona.

El estudio elaborado fue aprobado como NSO 67.20.01:05, SAL FORTIFICADA CON YODO por el Comité Técnico de Normalización de 20, Comité Técnico de Fortificación de Alimentos. Excepto Harinas. La oficialización de la norma conlleva la ratificación por Junta Directiva y el Acuerdo Ejecutivo del Ministerio de Economía.

Esta norma está sujeta a permanente revisión con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias de la técnica moderna. Las solicitudes fundadas para su revisión merecerán la mayor atención del organismo técnico del Consejo: Departamento de Normalización, Metrología y Certificación de la Calidad.

MIEMBROS PARTICIPANTES DEL COMITÉ 20

Haydeé Rosa de Orellana	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
Julio César Jiménez	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
Sara Guzmán de Bonilla	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
Guadalupe de Guzman	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
Mayra Garcia de Vela	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
Gerardo Merino	INCAP / OPS
Claudia Alfaro	Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
Carmen Elena Menjivar	Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
Oscar Arnoldo Reyes	Dirección General de Protección al Consumidor
Ivette de Huevo	Asociación Salvadoreña de Envasadores de Sal Yodada
Carlos Jacobo Handal	ASALES
Jose Orlando Hándal	ASALES
Rodolfo Aquino	Asociación Salvadoreña de Envasadores de Sal Yodada
Ricardo Harrison	CONACYT

1. OBJETO

Esta norma tiene por objeto definir las características a que debe obedecer la sal yodada en su extracción y procesamiento para consumo humano y animal.

2. AMBITO DE APLICACIÓN

Esta norma aplica a toda la sal producida y comercializada en el país para consumo humano y animal, así como a la sal importada o donada.

3. DEFINICIONES

3.1 Sal yodada: es el cloruro de sodio cristalizado al que se le ha añadido sales de yodo no tóxicas en forma de Yodato de Potasio o Yoduro de Potasio, en dosis mínima de 30 mg de Yodo/kg de sal y de 100 mg de Yodo/kg de sal como máximo.

3.2 Premezcla típica: es una premezcla que contenga una parte de Yodato de Potasio y nueve partes de Carbonato de Calcio o sal

3.3 Aditivos: aquellas sustancias que se adicionan directamente a los alimentos y bebidas, durante su elaboración, para proporcionar o intensificar aroma, color o sabor, para mejorar su estabilidad o para su conservación.

3.4 Buenas practicas de fabricación: Conjunto de normas y actividades relacionadas entre si, destinadas a garantizar que los productos tengan y mantengan las especificaciones requeridas para su uso.

3.5 Envasador: aquel que adquiere la sal del productor, con o sin adición de yodo, debiendo garantizar esta adición en los niveles especificados.

3.6 Productor: es aquel que inicia el proceso de extracción del producto, debiendo garantizar que dicho producto cumpla con los requerimientos fisicoquímicos de esta norma.

3.7 Materia extraña: toda sustancia, resto o desecho que se presenta y que sea ajena a la composición del producto.

3.8 Método de prueba: procedimiento analítico utilizado en el laboratorio para comprobar que un producto satisface las especificaciones que establece la norma.

3.9 Metales pesados: elementos cuyo número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos. Dentro de este grupo están: arsénico, cobre, plomo, cadmio, mercurio, etc.

4. TIPOS DE SAL

La sal, de acuerdo a sus características de pureza y granulación, está clasificada en:

- a) Sal gruesa o sal gorda: producto no beneficiado cuyos cristales deberán pasar totalmente por el tamiz N° 3 (6,73 mm de abertura).
- b) Sal molida: producto obtenido por la molienda de sal gruesa o sal gorda, cuyos cristales deberán pasar por el tamiz N° 16 (1 mm de abertura).
- c) Sal refinada: producto beneficiado con eliminación de sales higroscópicas de magnesio y calcio, impurezas orgánicas, arena y fragmentos de concha; los cristales deberán pasar totalmente por el tamiz N° 20 (0,841 mm de abertura) y 25% por lo mínimo deberán pasar por el tamiz N° 60 (0,25 mm de abertura).
- d) Sal de mesa: es la sal refinada, a la que la añaden anti-humectantes.

5. CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES

5.1 CARACTERISTICAS GENERALES

La sal se presenta como cristales blancos, de forma cúbica agrupados y unidos de manera que constituyan pequeñas pirámides de base cuadrangular.

5.2 ESPECIFICACIONES

A la sal molida se deben añadir sales de yodo (Yoduro de potasio, yodato de potasio u otra sal de yodo no tóxicas) en dosis mínima de 30 mg de yodo / kg de sal y de 100 mg de yodo / kg de sal como máximo.

A la sal refinada podrá añadirse anti-humectantes permitidos en la industria de alimentos.

En la sal refinada, se permitirá la yodación con Yoduro de Potasio estabilizado en la misma proporción indicado en la sal molida.

5.3 CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS.

Aspectos: cristales de granulación uniforme, de acuerdo con el tipo.

Color: blanco.

Olor: sin olor

Sabor: salino

5.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Características	Sal Molida	Sal Refinada	Sal de Mesa
Granulaciones	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 16 (1 mm de abertura)	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 20 (0,841 mm de abertura) y en lo mínimo 25% deben pasar por un tamiz N° 60 (0,25 mm de abertura)	Los cristales deben pasar totalmente por un tamiz N° 20 (0,841 mm de abertura) y en lo mínimo 25% deben pasar por un tamiz N° 60 (0,25 mm de abertura)
Humedad a 105 - 110 °C máximo	3%	2%	0,5%
Substancias insolubles en agua máximo	3%	0,2%	0,2% (excluido el anti-humectante)
Cloruro de sodio (Sobre la sustancia seca y deducida del anti-humectante) mínimo	96.5%	98.5%	98.5%
Anti-humectantes máximo	---	---	2%
Grado de turbiedad máximo	50	25	25
Contenido de Yodo para los tres tipos de sal	Mínimo 30 mg/kg - Máximo 100 mg/kg		
Arsénico	No más de 0,5 mg/kg expresado como As		
Cobre	No más de 2,0 mg/kg expresado como Cu		
Plomo	No más de 2,0 mg/kg expresado como Pb		
Cadmio	No más de 0,5 mg/kg expresado como Cd		
Mercurio	No más de 0,1 mg/kg expresado como Hg		

5.5 CARACTERÍSTICAS SANITARIAS

La sal yodada para consumo humano y animal debe cumplir con los principios de inocuidad de alimentos y en su procesamiento se deben tener en cuenta las buenas prácticas de manufactura.

El productor debe asegurar que su producto esté libre de contaminación microbiológica, física y química.

6. ENVASE Y EMBALAJE

6.1 La sal yodada deberá ser acondicionada de manera que quede el abrigo de la humedad y de contaminaciones. El envase deberá ser de material resistente a la acción del producto. Las características organolépticas y la composición del producto no deberán ser alteradas por el material del envase.

6.2 La etiqueta debe tener la denominación "Sal", seguida de su clasificación y de la marca comercial. Cuando se le añaden al producto sales de yodo, deberá constar en el rótulo la declaración "yodada". Será obligatoria la declaración de los antihumectantes añadidos.

6.3 Además de las características específicas del producto, la etiqueta debe cumplir con la NSO 67.10.01:03 Norma General para el Etiquetado de Alimentos Preenvasados.

7. METODOS DE ENSAYO Y ANALISIS.

CARACTERISTICAS	REFERENCIA	METODO
Humedad %	AOAC	Cap. 27, método 935.23 ed. 17.2000
Sustancias insolubles en agua máximo.	NORMA SANITARIA DE ALIMENTOS	Tomo.3 pag. 1138 1er. ed. dic./1967
Cloruro de Sodio %	NORMA SANITARIA DE ALIMENTOS	Tomo I AO 12, Método 10.1.6 pag. 104-105 1er. ed. dic./1967
mg Yodo/Kg	AOAC	925.56, cap. 11, pag. 32 ed. 17.2000
Cenizas %	AOAC	920.153, 923.03 cap. 39-4, cap. 32.105 ed. 17.2000
Grado de turbiedad máximo	NORMA SANITARIA DE ALIMENTOS	Tomo. III pag. 1138. (OFSAMPAM) 1er. ed. dic./1967
Arsénico	AOAC	957.22 Cap. 5 pag. 5 ed. 17.2000
Cobre	AOAC	999.10 Cap. 9 pag. 16 ed. 17.2000
Plomo	AOAC	934.07 Cap. 9 pag. 33 ed. 17.2000
Cadmio	AOAC	986.15 Cap. 9 pag. 1 ed. 17.2000
Mercurio	AOAC	971.21 Cap. 9 pag. 35 ed. 17.2000

8. APENDICE

8.1 NORMAS QUE DEBEN CONSULTARSE

NSO 67.10.01:03 ETIQUETADO GENERAL PARA ALIMENTOS PREENVASADOS

NSO 67.10.02:99 DIRECTRICES DEL CODEX ALIMENTARIUS SOBRE ETIQUETADO NUTRICIONAL.

8.2 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Normas sanitarias de alimentos OFSANPAN – 272 – 05 – 00, y normas internacionales del programa conjunto FAO / OMS sobre normas alimentarias suplemento 1 al vol XII del Codex Alimentarius.

Ley de Yodación de la Sal. Fecha de Emisión 27/01/1993, Diario Oficial N° 23 Tomo N° 318, Fecha de Publicación 03/02/1993.

Norma para la Sal Yodada. Ministerio de Salud, El Salvador. Octubre de 2002.

9. VIGILANCIA Y VERIFICACIÓN

La vigilancia y verificación de esta norma corresponde al Departamento de Control de Alimentos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y a la Dirección General de Protección al Consumidor del Ministerio de Economía y al Ministerio de Agricultura y Ganadería

-FIN DE NORMA-

ANEXO N° 5

TABLA DE CONVERSIÓN PARA YODO EN SAL FORTIFICADA (PARTES POR

**TABLA DE CONVERSIÓN PARA YODO EN SAL FORTIFICADA (PARTES POR MILLÓN, PPM)
Sal fortificada con yodato**

Volumen de Tiosulfato (mL)	Yodo (ppm)	Volumen de Tiosulfato (mL)	Yodo (ppm)	Volumen de Tiosulfato (mL)	Yodo (ppm)	Volumen de Tiosulfato (mL)	Yodo (ppm)	Volumen de Tiosulfato (mL)	Yodo (ppm)	Volumen de Tiosulfato (mL)	Yodo (ppm)
0.1	1.1	2	21.2	3.9	41.3	5.8	61.5	7.7	81.6	9.6	101.8
0.2	2.1	2.1	22.2	4	42.4	5.9	62.5	7.8	82.7	9.7	102.8
0.3	3.2	2.2	23.3	4.1	43.5	6	63.6	7.9	83.4	9.8	103.9
0.4	4.2	2.3	24.4	4.2	44.5	6.1	64.7	8.0	84.8	9.9	104.9
0.5	5.3	2.4	25.4	4.3	45.6	6.2	65.7	8.1	85.9	10	106.0
0.6	6.4	2.5	26.5	4.4	46.4	6.3	66.8	8.2	86.9	10.1	107.1
0.7	7.4	2.6	27.6	4.5	47.7	6.4	67.8	8.3	88.0	10.2	108.1
0.8	8.5	2.7	28.6	4.6	48.8	6.5	68.9	8.4	89.0	10.3	109.2
0.9	9.4	2.8	29.7	4.7	49.8	6.6	70.0	8.5	90.1	10.4	110.2
1.0	10.6	2.9	30.7	4.8	50.9	6.7	71.0	8.6	91.2	10.5	111.3
1.1	11.7	3.0	31.8	4.9	51.9	6.8	72.1	8.7	92.2	10.6	112.4
1.2	12.2	3.1	32.9	5.0	53.0	6.9	73.1	8.8	93.3	10.7	113.4
1.3	13.8	3.2	33.9	5.1	54.1	7.0	74.2	8.9	94.3	10.8	114.5
1.4	14.8	3.3	35.0	5.2	55.1	7.1	75.3	9.0	95.4	10.9	115.5
1.5	15.9	3.4	36.0	5.3	56.2	7.2	76.3	9.1	96.5	11	116.6
1.6	17.0	3.5	37.1	5.4	57.2	7.3	77.4	9.2	97.5	11.1	117.7
1.7	18.0	3.6	38.2	5.5	58.3	7.4	78.4	9.3	98.6	11.2	118.7
1.8	19.1	3.7	39.2	5.6	59.4	7.5	79.5	9.4	99.7	11.3	119.8
1.9	20.1	3.8	40.3	5.7	60.4	7.6	80.6	9.5	100.7	11.4	120.8

MILLÓN, PPM)