

**Suficiencia de yodo y estado nutricional de madres gestantes-lactantes y su relación con la suficiencia de yodo de sus hijos menores de seis meses en San Ildefonso, Amealco de Bonfil**

2017

Ana M. Estardante O.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Ciencias de la  
Nutrición Humana



Suficiencia de yodo y estado nutricional de madres gestantes-lactantes y su relación con la suficiencia de yodo de sus hijos menores de seis meses en San Ildefonso, Amealco de Bonfil

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias de la Nutrición Humana

Presenta

Ana Maria Estardante Ortiz

Santiago de Querétaro, Querétaro, Noviembre 2017



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales  
Maestría en Ciencias de la Nutrición Humana

Suficiencia de yodo y estado nutricional de madres gestantes-lactantes y su relación con la  
suficiencia de yodo de sus hijos menores de seis meses en San Ildefonso, Amealco de  
Bonfil

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias de la Nutrición Humana

**Presenta:**

Ana Maria Estardante Ortiz

**Dirigido por:**

Dr. en C. Pablo García Solís

**SINODALES**

Dr. Pablo García Solís  
Presidente

Dr. Jorge Luis Chávez Servín  
Secretario

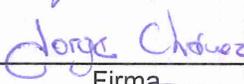
Dra. Ma. Ludivina Robles Osorio  
Vocal

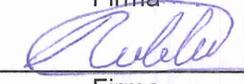
Dra. Juana Elizabeth Elton Puente  
Suplente

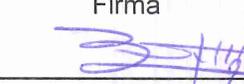
Dra. Karina de la Torre Carbot  
Suplente

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca  
Directora de la Facultad de Ciencias Naturales

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro. México  
Noviembre del 2017

## Resumen

El yodo es un micronutriente indispensable para el neurodesarrollo gestacional por ser un constituyente de las hormonas tiroideas. La gestación, lactancia e infancia temprana son las etapas más vulnerables y con mayores secuelas, a la deficiencia de yodo (DY). **Objetivo:** Evaluar la suficiencia de yodo y el estado nutricional de mujeres gestantes (MG), mujeres lactantes (ML), sus hijos menores de 6 meses de edad (H<6M) y escolares. **Materiales y Métodos:** 46 MG (16-38 años), donaron muestras casuales de orina (MCO) durante 2do o 3er trimestre, de las cuales 36 donaron MCO durante la lactancia a la semana posparto  $7.6 \pm 4.5$ . A las ML se les aplicó una evaluación socioeconómica, una historia clínica de ellas y sus H<6M y 3 recordatorios alimentarios de 24h (R24h). 34 ML donaron muestra casera de sal y 24 de estas donaron leche materna (LM), cada una donó 6 muestras (mañana, medio día y tarde, durante 2 días consecutivos). Se obtuvieron 31 MCO de los H<6M y 38 MCO de escolares de San Ildefonso. Además, se recolectaron muestras de alimentos locales (pan, huevo, quelites, tortilla de maíz). **Resultados:** El nivel socioeconómico fue mayormente bajo (66.7%) y muy bajo (27.8%). La mediana (P25-P75) de la yoduria en MG fue  $171 \mu\text{g/L}$  ( $118-274 \mu\text{g/L}$ ), ML  $134 \mu\text{g/L}$  ( $99-201 \mu\text{g/L}$ ), H<6M  $295 \mu\text{g/L}$  ( $199-615 \mu\text{g/L}$ ) y escolares  $471 \mu\text{g/L}$  ( $196-700 \mu\text{g/L}$ ). La CY en LM fue  $178 \mu\text{g/L}$  ( $149.6-194.5 \mu\text{g/L}$ ). La CY promedio en la sal casera evaluada fue  $28 \pm 7 \text{ ppm}$  y el 82.4% cumplió con la CY reglamentaria (20-40ppm). La CY en alimentos por porción de consumo fue  $27 \pm 8 \mu\text{g}$ ,  $12 \pm 8 \mu\text{g}$ ,  $1 \pm 0 \mu\text{g}$  and  $1 \pm 0.7 \mu\text{g}$  para pan, huevo, quelites y tortilla de maíz, respectivamente. El consumo de energía, hidratos de carbono, proteínas y lípidos fue  $1976 \pm 553 \text{ Kcal}$ ,  $353 \pm 106 \text{ g}$ ,  $64 \pm 20 \text{ g}$ ,  $42 \pm 18 \text{ g}$ , respectivamente. **Conclusión:** La suficiencia de yodo fue adecuada en MG y ML, más que adecuada en H<6M y excesiva en escolares, a pesar del bajo nivel socioeconómico, la baja CY en alimentos y la inadecuada alimentación. Esto se debe principalmente al consumo de sal adecuadamente yodada. (**Palabras clave:** yodo, gestación, lactancia, estado nutricional).

## Abstract

Iodine is required for normal neurodevelopment and is an essential component of the thyroid hormones. The most vulnerable stage for iodine deficiency occurs during pregnancy and early childhood.

**Objective:** Assess the iodine nutritional status of pregnant (PW) and lactating women (LW), nursing infants (NI), and school-aged children (SAC).

**Methods:** 46 PW (16-38 years old), provided spot urine samples (SUS), of whom 36 also provided SUS during lactation at  $7.6 \pm 4.5$  weeks postpartum. LW provided 34 household table salt samples and 24 of the LW each provided 6 breast milk (BM) samples (morning, noon, and afternoon on two consecutive days). 31 of the women's NI provided SUS and 38 SAC from San Ildefonso provided SUS. Additionally Samples of local dietary food (bread, eggs, quelites and corn-tortillas) were collected. Iodine concentration (IC) was measured by standard procedures.

**Results:** Socioeconomic status was mainly low (66.7%) and very low (27.8%). The median (P25-P75) urine IC was 171  $\mu\text{g/L}$  (118–274  $\mu\text{g/L}$ ) in PW, 134  $\mu\text{g/L}$  (99–201  $\mu\text{g/L}$ ), in LW, 295  $\mu\text{g/L}$  (199–615  $\mu\text{g/L}$ ) in NI and 471  $\mu\text{g/L}$  (196–700  $\mu\text{g/L}$ ) in SAC. The median BM-IC was 178  $\mu\text{g/L}$  (149.6–194.5  $\mu\text{g/L}$ ). The mean IC in household salt was  $28 \pm 7$  ppm; 82.4% of salt samples were adequately iodized according to Mexican legislation (20-40 ppm), and only 5.9% were below the 15 ppm WHO threshold. The IC per portion in food samples was  $27 \pm 8$   $\mu\text{g}$ ,  $12 \pm 8$   $\mu\text{g}$ ,  $1 \pm 0$   $\mu\text{g}$  and  $1 \pm 0.7$   $\mu\text{g}$  for bread, eggs, quelites and corn-tortilla, respectively. The mean energy, carbohydrates, protein and lipids intake were  $1976 \pm 553$  Kcal,  $353 \pm 106$  g,  $64 \pm 20$  g,  $42 \pm 18$  g, respectively.

**Conclusion:** Iodine nutritional status in pregnant and lactating women are adequate and those in nursing infants and school age children more than adequate and excessive, respectively, despite the low socioeconomic level, low levels of iodine in staple foods and the community inadequate food practices. This results of adequate iodized table salt as the main source of iodine. (**Key words:** iodine, gestation, lactation, nutritional status).

## **Dedicatorias**

A mi papa el gran Payo, a mis Ninos Humberto y Carolina, a mi familia y mis amigas quienes me apoyaron a lo largo de estos 2 años alentándome para continuar y lograr concluir una meta más en mi vida.

Al proceso “artesanal” de las yodurias que me enseñó a valorar el tan anhelado 0.99... o sentir alivio con un 0.98 y la importancia de:

- Alinear chacras
- Dormir bien
- Comer bien
- Dejar todo afuera (del cuarto de yodo)... para obtener resultados científicamente válidos.

## Agradecimientos

A mi papá, quien se aseguró de darme todo su amor y brindarme las herramientas necesarias para lograr mis metas y por haber sido mi impulso y apoyo para seguir adelante.

A mi director, Dr. Pablo García Solís, por la oportunidad de llevar a cabo este proyecto y en especial por ser mi guía en la introducción al mundo del yodo.

A Olga, mi amiga y compañera, que sin ella no hubiera sido posible completar tantas horas de trabajo de campo.

Al incondicional apoyo de mis valientes colaboradores quienes ayudaron a completar el muestreo. A Lorena y Luis por ayudar con la extracción de muestras de sangre, a mis hermosas “minions” (Laura, Malú y Diana) y a mis compañeros de generación y amigos, Carlos y Brenda.

Y a las instituciones que me financiaron y acogieron estos dos años de la maestría: CONACYT, Facultad de Ciencias Naturales (FCN) de la UAQ, Facultad de Medicina de la UAQ, Laboratorio de Nutrición Animal de la FCN-UAQ, CIAD A.C. y la Sección de Endocrinología, Nutrición y Diabetes de *Boston University*.

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Endocrinología y Nutrición del departamento de Investigación Biomédica de la Facultad de Medicina de la UAQ.

Este trabajo fue financiado parcialmente con el apoyo del Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación UAQ-2015, FM-2016-2 1263. La autora fue apoyada económica con una beca de manutención y beca mixta de CONACYT (Número de registro 705231).

## Índice

Resumen .....	1
Abstract .....	2
Dedicatorias .....	3
Agradecimientos.....	4
Índice.....	5
Índice de tablas .....	7
Índice de figuras .....	8
Índice de anexos .....	9
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>II. ANTECEDENTES .....</b>	<b>12</b>
2.1. <i>Nutrición en el embarazo y la lactancia</i> .....	12
2.2. <i>Yodo</i> .....	15
2.2.1. <i>Metabolismo del yodo</i> .....	16
2.2.2. <i>Glándula tiroides</i> .....	17
2.2.3. <i>Hormonas tiroideas</i> .....	20
2.2.4. <i>Distribución del yodo en el ambiente</i> .....	23
2.3. <i>Deficiencia de yodo</i> .....	24
2.4. <i>Deficiencia de yodo en las etapas críticas del desarrollo</i> .....	30
2.5. <i>Acciones para prevenir y tratar la deficiencia de yodo</i> .....	33
2.6. <i>Características geográficas y demográficas del municipio de Amealco</i> .....	40
<b>III. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>41</b>
<b>IV. HIPÓTESIS.....</b>	<b>43</b>
<b>V. OBJETIVOS .....</b>	<b>43</b>
5.1. <i>Objetivo general</i> .....	43
5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	43
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
6.1. <i>Diseño</i> .....	44
6.1.1. <i>Aspectos éticos</i> .....	44
6.2. <i>Sujetos del estudio</i> .....	45
6.2.1. <i>Criterios de inclusión</i> .....	45
6.2.2. <i>Criterios de exclusión</i> .....	45
6.2.3. <i>Criterios de eliminación</i> .....	46
6.3. <i>Recolección de datos</i> .....	46
6.3.1. <i>Historia clínica y gineco-obstétrica</i> .....	46
6.3.2. <i>Estudio socioeconómico</i> .....	46
6.3.3. <i>Recordatorio de 24 horas</i> .....	47
6.3.4. <i>Actividad física: IPAQ-SF</i> .....	48
6.4. <i>Mediciones antropométricas</i> .....	49
6.5. <i>Análisis de muestras</i> .....	49
6.5.1. <i>Muestra de sal</i> .....	49
6.5.2. <i>Muestra de orina</i> .....	50
6.5.3. <i>Muestras de alimentos</i> .....	52

6.5.4. Muestras de leche materna .....	53
6.6. <i>Calculo del requerimiento energético basal</i> .....	53
6.7. <i>Análisis estadísticos</i> .....	54
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	55
7.1. <i>Características sociodemográficas de la población evaluada</i> .....	55
7.2. <i>Estado Nutricio de las mujeres gestantes y lactantes</i> .....	55
7.3. <i>Suplementación de yodo durante la gestación y la lactancia</i> .....	57
7.4. <i>Ingesta de líquidos, macro y micronutrientes de las mujeres lactantes</i> ...	59
7.5. <i>Contenido total de yodo en muestras de sal y alimentos</i> .....	60
7.6. <i>Suficiencia de yodo en población gestante, lactante, menores de 6 meses y escolares</i> . ....	61
<b>VIII. CONCLUSIONES</b> .....	64
<b>IX. LITERATURA CITADA</b> .....	65
<b>X. ANEXOS</b> .....	75

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Ganancia de peso recomendada para mujeres embarazadas.....	13
<b>Tabla 2.</b> Ingesta Diaria Recomendada de yodo (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).	15
<b>Tabla 3.</b> Puntos de corte para evaluar el estado nutricional de yodo (OMS, UNICEF, ICCIDD, 2007).....	25
<b>Tabla 4.</b> Indicadores de suficiencia nutricional de yodo (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).....	26
<b>Tabla 5.</b> Espectro de los Desórdenes por deficiencia de yodo (DDY). ....	27
WHO, UNICEF, ICCIDD (2007).....	27
<b>Tabla 6.</b> Criterios del ICCIDD para evaluar DY según la proporción de hipertirotropinemia.....	28
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de mujeres gestantes con DY en México.....	29
<b>Tabla 8.</b> DY de la población mundial y hogares con acceso a sal yodada (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007). ....	37
<b>Tabla 9.</b> Dosis recomendada para suplementación total con yodo (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).....	38
<b>Tabla 10.</b> Características sociales, demográficas y geográficas (INEGI, 2010; CONEVAL, 2010 y CONAPO, 2010; DIF, 2004). ....	42
<b>Tabla 11.</b> Ecuación para estimar el GEB en mujeres (OMS, 1985).....	54
<b>Tabla 12.</b> Características generales de la población evaluada.....	56
<b>Tabla 13.</b> Consumo de líquidos, energía, macro y micronutrientes en mujeres lactantes.....	59
<b>Tabla 14.</b> Contenido de yodo y hierro en alimentos de consumo común en San Ildefonso, Amealco de Bonfil.....	61
<b>Tabla 15.</b> Yoduria de mujeres gestantes, lactantes, su H<6M y escolares.....	61

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Las principales vías del yodo presente en los océanos para incorporarse a la cadena alimenticia de los humanos (Hua-Bin <i>et al</i> , 2009).....	16
<b>Figura 2.</b> Eje Hipotálamo -Hipófisis-Tiroides (Valverde, 2011). .....	19
<b>Figura 3.</b> Estructura de las hormonas tiroideas y sus precursores (Stanbury y Dunn, 2003).....	20
<b>Figura 4.</b> Síntesis de Hormonas tiroideas (Portulano <i>et al.</i> , 2014). .....	21
<b>Figura 5.</b> Acción de las desyodasas (Jameson y Weetman, 2012). .....	22
<b>Figura 6.</b> Mecanismo de acción de las hormonas tiroideas. Los TR usualmente forman heterodímeros con el RXR. La T3 al unirse a su receptor se reclutan proteínas co-activadoras y se inicia la transcripción. RXR: receptor al ácido retinoico 9- <i>cis</i> ; TR: receptor a hormonas tiroideas; TRE: elemento responsivo a hormonas tiroideas. D1: Desyodasa tipo 1; D2: Desyodasa tipo 2; D3: Desyodasa tipo 3. Proporcionada por García-Solís y Solís-Sáinz. ....	23
<b>Figura 7.</b> Distribución y concentración (nM) del yoduro oceánico (Chance <i>et al.</i> , 2014). .....	24
<b>Figura 8.</b> Principales eventos del neurodesarrollo y alteraciones neurológicas asociadas a la DY durante la etapa embrionaria y neonatal (Berbel <i>et al.</i> , 2007). .....	32
<b>Figura 9.</b> Estado nutricional del yodo en las Américas (Pretell <i>et al.</i> , 2017).....	33
<b>Figura 10.</b> Estado nutricional del yodo en escolares. (Gizak, 2016).....	34
<b>Figura 11.</b> Estado nutricional del yodo en mujeres embarazadas (Gizak, 2016). .....	35
<b>Figura 12.</b> Progreso en la eliminación de la deficiencia de yodo y aumento en la ingesta excesiva de yodo entre 1993 y 2016 (Pretell <i>et al.</i> , 2017). .....	36
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de cumplimiento de contenido de yodo (20 – 40 mg/kg) en los últimos 6 años (Martínez-Chapa, 2012).....	39
<b>Figura 14.</b> Ubicación geográfica de la comunidad de San Ildefonso (Morales y Garduño, 2017). .....	40
<b>Figura 15.</b> Correlaciones de: a) la concentración de yodo en leche materna y yoduria de las mujeres lactantes (n= 24); b) concentración de yodo en leche materna y yoduria de los H<6m (n= 21); y c) Yoduria de las mujeres lactantes y sus H<6m. ....	63

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Historia clínica .....	75
<b>Anexo 2.</b> Estudio socioeconómico de Graffar modificado por Méndez-Castellano .....	77
<b>Anexo 3.</b> Cuestionario de actividad física IPAQ versión corta. ....	78
<b>Anexo 4.</b> Recordatorio de 24 horas. ....	79
<b>Anexo 5.</b> Diagrama del marco teórico de las variables.....	80

## I. INTRODUCCIÓN

El estado nutricional de la mujer al inicio y durante la gestación condiciona tanto la nutrición de ella misma como la de su embrión, feto y neonato (Flores-Quijano y Arroyo, 2015). Conservar y mantener la salud materno-infantil es una prioridad de salud pública (Flores-Quijano y Arroyo, 2015). Sin embargo, se estima que la mala nutrición materna durante la gestación es la causa de alrededor de 800 000 fallecimientos neonatales por nacimientos prematuros que ocurren por año y alrededor de 3.1 millones de niños fallecen anualmente por deficiencias de micronutrientes (Bhutta *et al.*, 2013). De los micronutrientes que más pueden afectar la salud materno-infantil y ocasionar complicaciones en el embarazo están las deficiencias de calcio, hierro, vitamina A y yodo (Bhutta *et al.*, 2013; Abu-Saad y Fraser, 2010).

El yodo, en particular, es un micronutriente imprescindible durante la gestación y la lactancia por ser de alta prioridad para el embrión, feto y neonato, por su relación con las hormonas tiroideas (HT) y el neurodesarrollo (Morreale de Escobar *et al.*, 2004).

El aumento en los requerimientos de yodo durante la gestación y la infancia temprana pone a esta población en riesgo de deficiencia de yodo (DY) y durante estas etapas de la vida se presentan las consecuencias más graves, pudiendo afectar la neurogénesis, la migración neuronal y la maduración cortical. El tiempo de permanencia y severidad de la DY determinan el tipo de desorden por deficiencia de yodo (DDY) que se presentará, incluyendo daños irreversibles como retraso mental, bajo cociente intelectual (IQ), déficit de atención e hiperactividad, alteración del desarrollo coclear, así como deficiencias motoras (Berbel *et al.*, 2007). Incluso una DY leve durante la gestación o lactancia puede deteriorar una o varias funciones fisiológicas importantes causando daños psicológicos y neurológicos (Bath *et al.*, 2013). La DY puede disminuir hasta 13.5 puntos el IQ de la población en general (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

H. R. Labouisse fue el Director Ejecutivo del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y en 1978 escribió “La carencia de yodo es tan fácil de evitar que es un crimen permitir que un solo niño nazca con incapacidad mental por este motivo” (Latham, 2002).

La desigual distribución del yodo en la superficie terrestre expone a las regiones de gran altitud o de constantes inundaciones más susceptibles a la DY. Por eso desde 1993 la OMS y la UNICEF emitieron la recomendación de la yodación universal de la sal como medida profiláctica para prevenir la DY y actualmente continúa siendo la medida más efectiva. A pesar de esto, se estima que solo el 75% de los hogares alrededor del mundo tienen acceso a sal adecuadamente yodada y que 35% de la población mundial consume cantidades insuficientes de yodo (American Thyroid Association, 2014; Organización Mundial de la Salud, 2014; UNICEF, 2014). La concentración de yodo en la sal de mesa debe monitorearse y ajustarse a las necesidades de su población para lograr prevenir la DY y al mismo tiempo evitar los efectos nocivos por exceso de yodo (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

México es considerado un país yodo suficiente desde 1999, según la última evaluación nacional. Sin embargo, esos datos no incluyeron a la población que ahora es considerada más vulnerable, que son la gestación y lactancia.

Actualmente, en México se estima una prevalencia aproximada del 30% de mujeres gestantes en riesgo de DY según los pocos estudios que se han realizado a nivel estatal (Vidal *et al.*, 2014; García-Solís *et al.*, 2011; Martínez-Salgado *et al.*, 2002).

Además, en un análisis llevado a cabo en 11 países en vías de desarrollo se encontró que la cobertura de sal yodada era 8.7% mayor en áreas urbanas que en rurales, sugiriendo que hay un mayor riesgo de DY en áreas rurales (Tran *et al.*, 2016).

El objetivo de este estudio es conocer la suficiencia de yodo y el estado nutricional de las mujeres gestantes y lactantes de una comunidad rural en Amealco de Bonfil, el segundo municipio con mayor-pobreza en el estado de Querétaro.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Nutrición en el embarazo y la lactancia

La gestación y la lactancia son etapas de la vida que demandan grandes cantidades de nutrimentos para el crecimiento de los nuevos tejidos materno-fetales y para crear las reservas de micronutrimentos del feto (Allen, 2003).

Los 3 objetivos principales de cuidar la salud materno infantil, son: a) evitar complicaciones durante el embarazo, el parto y la lactancia; b) que se logre un neonato a término, sano y con peso adecuado al nacer; y c) por último que la salud de la madre no se vea comprometida y tenga la capacidad de cuidar y criar a su hijo (Flores-Quijano y Arroyo, 2015).

Una alimentación adecuada durante el embarazo ayuda a que la madre gane peso adicional, que es lo fisiológicamente esperado para garantizar un peso adecuado del neonato al nacer (Latham, 2002). Conforme la madre se nutra a si misma también estará nutriendo al feto en crecimiento y a la placenta que une al feto con el útero mediante el cordón umbilical (Latham, 2002). Alrededor del 90% del crecimiento fetal se produce en las últimas 20 semanas y esto se acompaña del crecimiento de la placenta, el útero y las glándulas mamarias (Allen, 2003). Este crecimiento de tejido nuevo eleva hasta un 60% más la tasa metabólica de la madre provocando necesidades adicionales de ingesta energética (Allen, 2003).

Al final del embarazo, la ganancia de peso total menos el peso antes del embarazo nos indica el desarrollo materno-fetal, que está directamente relacionado con la alimentación y estado nutricional de la madre (Flores-Quijano y Arroyo, 2015). Para poder conocer si el aumento de peso es adecuado se utiliza el índice masa corporal (IMC) antes del embarazo, para poder establecer un parámetro de ganancia de peso recomendada (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Ganancia de peso recomendada para mujeres embarazadas.

<b>IMC pregestacional</b>	<b>Ganancia recomendada en kg</b>
Bajo (<18.5)	12.5 a 18.0
Normal (18.6-24.9)	11.35 a 15.89
Alto (25.0-29.9)	6.81 a 11.35
Muy alto ( $\geq$ 30.0)	4.0 a 9.0

Nota: En adolescentes se recomienda el límite máximo de la ganancia deseable. Y en mujeres de estatura <1.50 m se recomienda límite inferior de la ganancia deseable. Tomada de Secretaría de Salud, 2016.

Los nutrimentos que se almacenan en los tejidos fetales y maternos provienen de una mayor ingesta materna y mayor absorción intestinal o reabsorción renal, según el tipo de nutrimento (Allen, 2003).

Las 3 mayores complicaciones que se pueden evitar al asegurar un buen estado nutricional durante la gestación son: a) bajo peso al nacer ( $\leq$ 2500 g); b) parto prematuro; y c) restricción del crecimiento intrauterino (Abu-Saad y Fraser, 2010). La presencia de cualquiera de estas 3 complicaciones tiene repercusiones a largo plazo en la vida del neonato, haciéndolo propenso a padecer enfermedades no transmisibles como diabetes tipo 2, hipertensión, obesidad, etcétera (Abu-Saad y Fraser, 2010). En conjunto, según datos de la OMS, la desnutrición materno-infantil supone más del 10% de la carga de morbilidad mundial y más de un tercio de la mortalidad infantil (Black *et al.*, 2013).

Una ingesta inadecuada, es sinónimo de crecimiento inadecuado y el bajo peso al nacer es un factor secundario que influye en 40-80% de las muertes neonatales, de las cuales el 98% de los casos se presentan en países en vías de desarrollo (Abu-Saad y Fraser, 2010). Un aspecto que influye en la poca ganancia de peso durante el embarazo y la desnutrición en los países en vías de desarrollo es la limitada disponibilidad de alimentos de calidad, malos hábitos y tabús alimentarios, junto con el poco conocimiento que tienen estas poblaciones (Abu-Saad y Frase, 2010).

Anteriormente se atribuía la falta de aumento de peso solo a la mala nutrición energético-proteínica, pero ahora se sabe que la falta de ganancia de peso en el embarazo también se da por ingestas inadecuadas de micronutrientes vitales durante la gestación (Abu-Saad y Fraser, 2010).

Dentro de los nutrientes que son de alta prioridad para el neonato se encuentra el yodo, el selenio, y las vitaminas A, B1, B2, B9 y B12 (Flores-Quijano y Arroyo, 2015). Además, la deficiencia en conjunto de yodo y hierro, contribuyen a no alcanzar en su totalidad el potencial de desarrollo en los niños (Black *et al.*, 2013).

Durante la lactancia, el estado nutricional y la alimentación de la madre influyen única y selectivamente en la concentración de micronutrientes, pero no influye en la capacidad de producir suficiente volumen, además la leche materna tiene una composición muy constante de macronutrientes (Flores-Quijano y Arroyo, 2015; Latham, 2002).

Para mantener un buen estado nutricional la mujer lactante debe elevar la ingesta de nutrientes, en el caso de las Kcal la conversión del aporte de los alimentos a la leche materna no es total, es alrededor del 80% y por lo tanto, por cada 800 Kcal de la leche materna, la madre necesita consumir 1000 Kcal en sus alimentos (Latham, 2002).

La lactancia también es una etapa que requiere de un vasto aporte de agua para la producción suficiente de leche materna (Flores-Quijano y Arroyo, 2015).

Aproximadamente a los 5-6 días después de nacer el bebé, después del calostro, aumenta la producción de leche materna para suplir las necesidades del infante (Latham, 2002). La producción de leche materna está influenciada por la demanda del infante cuya succión estimula la secreción de la leche, a mayor succión mayor producción (Latham, 2002). El volumen de producción de leche materna con frecuencia aumenta de 100-200 mL al tercer día del nacimiento, a 400-500 mL a los diez días posparto y continuar aumentando hasta 1000-1200 mL por día (Latham, 2002). Un niño sano de cuatro meses de edad, de peso promedio y que crece normalmente, alimentado al pecho exclusivamente, recibe de 700 a 850 mL de leche materna en un período de 24 h (Latham, 2002).

La sobrecarga fisiológica durante la gestación y la lactancia colocan a las mujeres y a sus neonatos en gran vulnerabilidad a padecer desnutrición o deficiencias de micronutrientes, y por eso el comité FAO/OMS decreto en 1962 que las madres gestantes y lactantes son la población más vulnerable desde el punto de vista nutricional (Latham, 2002).

## 2.2. Yodo

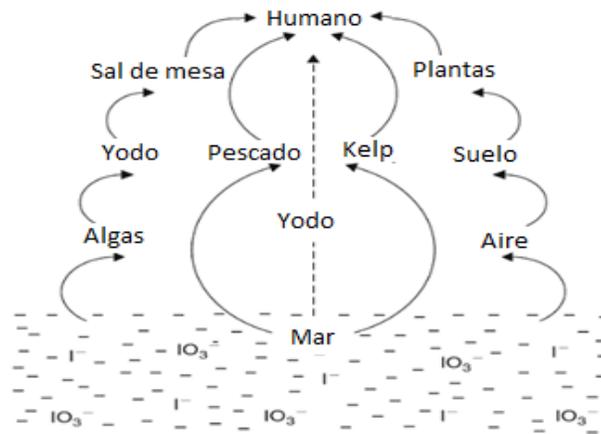
El yodo es el nutriente inorgánico más escaso en la biosfera, pero es indispensable para la vida de muchos vertebrados, incluido el hombre por ser un componente indispensable para la síntesis de HT (Valverde, 2011). También es el micronutriente con mayor peso molecular, pertenece a la familia de los halógenos y tiene una alta solubilidad tanto en agua como en solventes orgánicos (Risher y Keith, 2009). El yodo fue descubierto accidentalmente por el francés Bernard Courtois, en 1811, al intentar elaborar pólvora a base de cenizas de algas marinas, para el ejército de Napoleón (Courtois, 1813).

El yodo es considerado un oligoelemento por requerirse en cantidades traza (Valverde, 2011). Con el fin de asegurar la suficiencia nutricional de yodo alrededor del mundo, varias organizaciones internacionales establecieron la *Ingesta Diaria Recomendada* (IDR) de yodo según la edad y estado fisiológico en que se encuentre la persona (**Tabla 2**) (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

**Tabla 2.** Ingesta Diaria Recomendada de yodo (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

IDR ( $\mu\text{g}$ /día)	
0-5 años	90
6-12 años	120
> 12 años	150
Embarazo y lactancia	250

El yodo contenido en los alimentos se encuentra en forma de yoduro y es 100% biodisponible (Leung *et al.*, 2011). Al ser un elemento de origen oceánico, los alimentos provenientes del mar como algas marinas, pescados y mariscos son los que aportan mayor cantidad de yodo (**Figura 1**) (American Thyroid Association, 2014). Aunque las fuentes de consumo más comunes son las que tienen menores concentraciones de yodo como lácteos, pan, huevo, sal yodada, etcétera (American Thyroid Association, 2014).



**Figura 1.** Las principales vías del yodo presente en los océanos para incorporarse a la cadena alimenticia de los humanos (Hua-Bin *et al.*, 2009).

### 2.2.1. Metabolismo del yodo

El yodo se adquiere principalmente a través de la dieta y en algunas regiones a través del agua o el aire (Gibson, 2005). El yodo se puede encontrar como yoduro en la mayoría de los alimentos o como yodato de potasio, la principal forma como se adiciona la sal de mesa por ser la forma más estable a la humedad y resistente a la evaporación (Stanbury y Dunn, 2003).

El yodo es fácilmente absorbido por el cuerpo, se ha estimado que en zonas costeras, la simple exposición al aire libre aporta aproximadamente 5  $\mu\text{g}/\text{día}$  de yodo de forma inhalada (Risher y Keith, 2009). También se puede absorber yodo

de forma dérmica al aplicar antisépticos como yodopovidona, pero solo el 1% del total de yodo aplicado es absorbido por la piel (Risher y Keith, 2009).

Al ingerir alimentos que contienen yodo, la digestión estomacal y duodenal liberan el yoduro ingerido y por medio del simportador sodio/yoduro (NIS) llega a la sangre (Portulano *et al.*, 2014).

El yoduro circulante es rápidamente captado por el NIS de la glándula tiroides (GT) e introducido a los folículos tiroideos para su almacenaje y su uso posterior en la síntesis de las HT (Portulano *et al.*, 2014). El nivel de captación del yodo es regulado por el eje hipotálamo-hipófisis-tiroides (HHT) (Gibson, 2005).

Cuando hay suficiencia de yodo, la captura de este por parte de la GT es aproximadamente del 10%, este porcentaje tiende a aumentar gradualmente a medida que se presenta DY, pudiendo llegar hasta un 80% de captación en casos de DY severa (Stanbury y Dunn, 2003). En condiciones de suficiencia de yodo aproximadamente el 90% del yodo circulante que no es captado por la GT, se excreta del cuerpo principalmente por la orina (Risher y Keith, 2009). Pequeñas cantidades de yodo también se eliminan por heces y sudor (Risher y Keith, 2009).

Al ser la orina el principal medio de excreción del yodo en el cuerpo humano, se han establecido parámetros para medir la suficiencia o DY en una población utilizando muestras casuales de orina (American Thyroid Association, 2014; WHO, UNICEF, ICCICD, 2007). Se considera que la tasa de excreción es proporcional a la ingesta de yodo en casos de suficiencia y a la captación y almacén de yodo en caso de deficiencia (Gibson, 2005).

### 2.2.2. Glándula tiroides

Todos los organismos vertebrados tienen GT y en el caso del ser humano esta es la glándula de mayor tamaño (Sawin, 2005). La GT se forma de células foliculares llamadas tirocitos que dependen de un suministro adecuado de yodo para su correcto funcionamiento (Portulano *et al.*, 2014). La principal función de

este órgano endocrino es capturar, almacenar y utilizar el yodo para sintetiza y almacenar mensajeros químicos conocidos como HT y secretarlas a la circulación sanguínea según la demanda del organismo (Valverde, 2011).

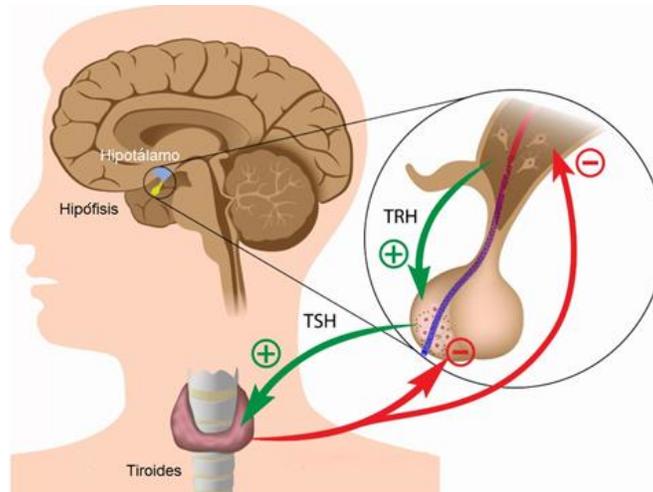
La habilidad de la GT para concentrar yodo fue identificada por primera vez en 1896, por Baumann (Sawin, 2005). Y fue hasta 1996, que se descubrió el NIS (Portulano *et al.*, 2014). El NIS es una proteína, localizada en la membrana plasmática del tirocito pero también se encuentra en las glándulas mamarias y salivares así como en la placenta, indicando también translocación de yodo en estos tejidos (Portulano *et al.*, 2014; Nicola *et al.*, 2009). El NIS funciona mediante una estequiometría 2:1, en donde el Na<sup>+</sup> funciona como impulsor del proceso de transporte (Portulano *et al.*, 2014).

El contenido de yodo en el cuerpo humano es aproximadamente de 15 a 20 mg, del cual entre un 70 y 80% se encuentra almacenado en la GT, y el resto del yodo formando parte de las HT (Gibson, 2005). La cantidad de yodo almacenado en la GT puede disminuir hasta llegar a 1 mg en casos de deficiencias crónicas de yodo (Gibson, 2005).

La función de la GT es regulada por dos mecanismos que se complementan entre sí, el mecanismo intrínseco que actúa según la cantidad de yodo circulante y el mecanismo neuroendocrino regulado por el hipotálamo (Valverde, 2011).

En el caso del mecanismo intrínseco, cuando la concentración del yodo circulante disminuye se aumenta la expresión de NIS y tiroperoxidasa (TPO), y viceversa (Valverde, 2011). Pero en el caso del mecanismo neuroendocrino, su regulación es más compleja y se requiere del eje HHT (**Figura 2**) (Valverde, 2011).

La función del eje HHT inicia en el hipotálamo cuando se secreta el neuropéptido llamado hormona liberadora de tirotropina (TRH) (Valverde, 2011). Este neuropéptido viaja en la circulación porta hacia la hipófisis en donde interactúa con sus receptores (TRHR) situados en los tirotrópos, quienes sintetizan y secretan a la hormona estimulante de la tiroides o tirotropina (TSH) (Valverde, 2011).



**Figura 2.** Eje Hipotálamo -Hipófisis-Tiroides (Valverde, 2011).

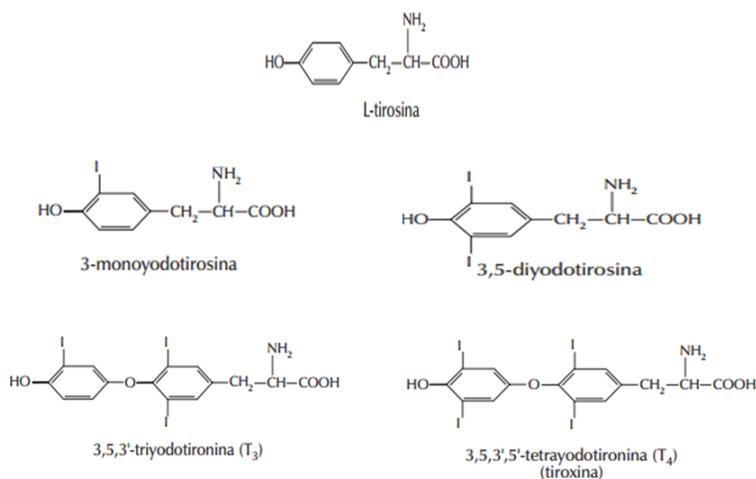
Una vez secretada a la circulación periférica la TSH llega a la GT y se une a sus receptores (TSHR), situados en la membrana basolateral de los tirocitos, para estimular las funciones de la GT (Valverde, 2011).

La TSH regula la síntesis y secreción de HT, de tal forma que cuando los niveles de T<sub>4</sub> bajan, se libera mayor cantidad de TSH y esta estimula las 3 acciones en la GT: 1) mayor captación de yodo por un aumento en la expresión de NIS; 2) aumento en la síntesis y secreción de HT; y 3) proliferación de los tirocitos (Valverde, 2011; Zimmermann, 2009).

Cuando la ingesta de yodo desciende por debajo de los 100 µg/d se enciende un mecanismo de adaptación en donde la GT modifica sus actividades, sintetizando preferentemente T<sub>3</sub>, haciendo que se mantengan elevados los niveles de TSH y se aumente la captación de yodo dando como resultado una reducción en la excreción urinaria de yodo (Zimmermann, 2009). Mientras el consumo de yodo se mantenga por encima de 50 µg/d, el mecanismo compensatorio puede mantener la funcionalidad de la GT sin alterar la homeostasis del cuerpo, debido a las grandes reservas de yodo en la GT (Zimmermann, 2009). Los amplios efectos de las HT sobre el metabolismo durante todas las etapas de la vida, hacen difícil no exagerar al señalar la importancia que tiene la GT para la salud humana (Portulano *et al.*, 2014).

### 2.2.3. Hormonas tiroideas

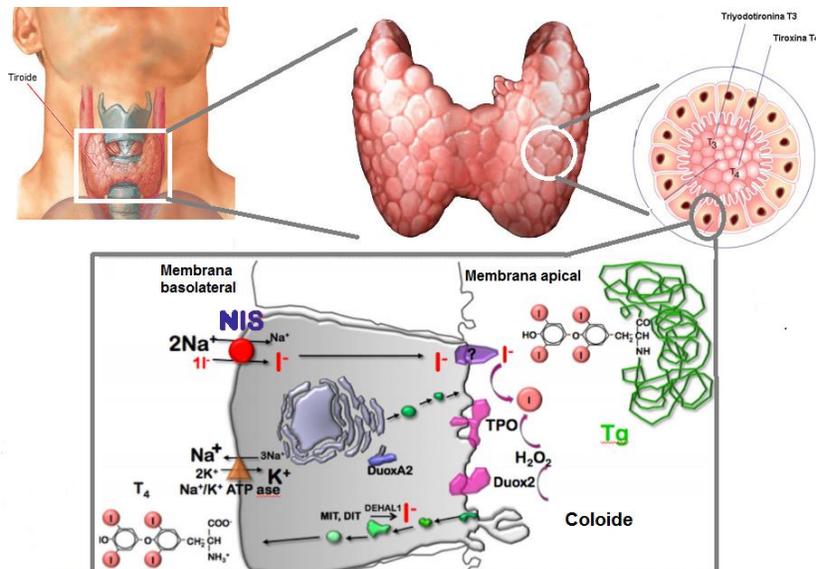
Las HT se derivan del aminoácido tirosina y tienen dos anillos fenólicos unidos por un enlace éter, yodados en 3 o 4 porciones, según sea 3, 5, 3'-triyodotironina ( $T_3$ ) o tiroxina ( $T_4$ ) (**Figura 3**) (Portulano *et al.*, 2014; Stanbury y Dunn, 2003).



**Figura 3.** Estructura de las hormonas tiroideas y sus precursores (Stanbury y Dunn, 2003).

La hormona mayormente secretada por la GT es la  $T_4$  (93%), en comparación con la  $T_3$  (7%), (Stanbury y Dunn, 2003). La  $T_4$  se considera una pro-hormona y requiere de la presencia de desyodasas en las células diana para su desyodación y conversión a  $T_3$ , la forma activa (Valverde, 2011).

Una vez que el yodo entra al tirocito y cruza la membrana apical, con ayuda de pendrina, llega al coloide (Portulano *et al.*, 2014). En el coloide, el yodo sufre una oxidación enzimática llevada a cabo por la TPO y  $H_2O_2$  generado por Duox2, que con la ayuda de TPO se une el yodo a los residuos de tirosilo de la tiroglobulina (Tg), una glucoproteína almacenadora de HT (**Figura 4**) (Portulano *et al.*, 2014). La Tg y TPO son sintetizadas en el retículo endoplásmico de los tirocitos y glucosiladas en el aparato de Golgi, para después pasar a la membrana apical, hacia el coloide (Stanbury y Dunn, 2003).



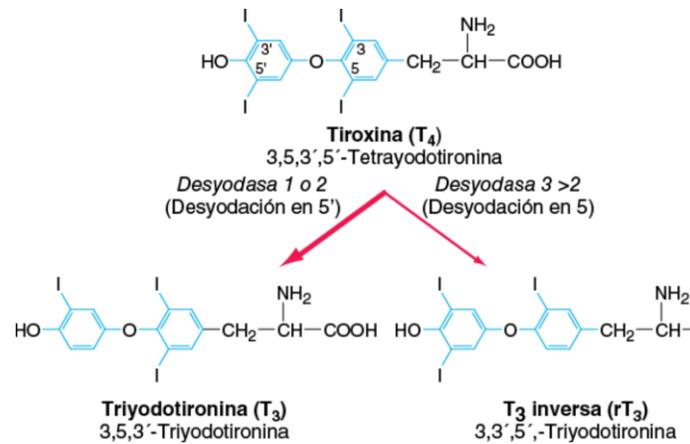
**Figura 4.** Síntesis de Hormonas tiroideas (Portulano *et al.*, 2014).

La organificación del yodo en los residuos de tirosilo de la Tg produce los precursores de las HT: monoyodotirosina (MYT) y diyodotirosina (DYT), que después se acoplan formando T<sub>3</sub> o T<sub>4</sub> (Stanbury y Dunn, 2003).

Cuando la TSH se eleva, el tirocito endocita la Tg yodada y por acción enzimática lisosomal libera T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> a la circulación sanguínea (Portulano *et al.*, 2014). Los residuos de yodo incorporados a MYT y DYT son reciclados mediante la desyodación catalizada por la deshalogenasa de yodotirosinas (Dehal1) (**Figura 4**) (Portulano *et al.*, 2014). La vida media de las HT es de 5 días para T<sub>4</sub> y de 1.5 - 3 días para T<sub>3</sub> (Stanbury y Dunn, 2003).

Una vez en circulación las HT viajan unidas de forma reversible a proteínas transportadoras: transtiretina, globulina transportadora de tiroxina (TBG) y albumina (Gibson, 2005). Estas proteínas transportadoras son determinantes para que las HT lleguen a todas las células del cuerpo (Valverde, 2011). La transtiretina transporta HT al cerebro y tiene mayor afinidad por T<sub>3</sub>, la TBG solo se encuentra en mamíferos y tiene mayor afinidad por T<sub>4</sub>, y la albumina que es la más abundante, carece de selectividad (Valverde, 2011).

Al llegar a los tejidos diapa la  $T_4$  es desyodada a  $T_3$ , por la acción de las selenoenzimas desyodasas (**Figura 5**) (Gibson, 2005).



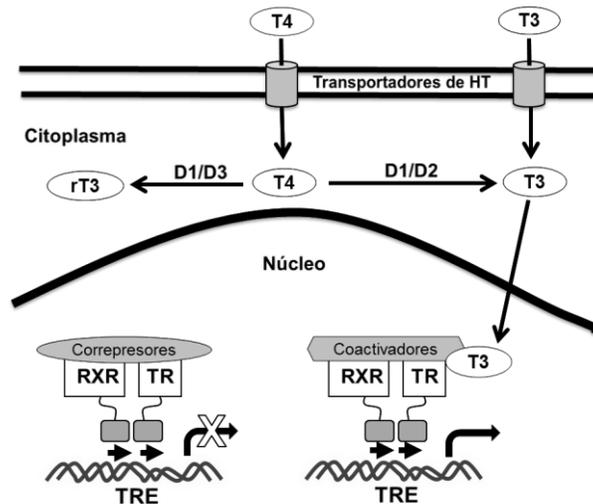
**Figura 5.** Acción de las desyodasas (Jameson y Weetman, 2012).

Una deficiencia de selenio puede impedir la conversión de  $T_4$  a  $T_3$  y así inhibir la acción de las HT (Gibson, 2005). Existen 3 tipos de desyodasas (D): D1, D2 y D3, las 2 primeras son de activación y la tercera es de inactivación (Gibson, 2005). La D1 actúa principalmente en hígado, riñón y tiroides; y la D2 en el cerebro (Gibson, 2005). Sin embargo, en todas las células del cuerpo existe una cantidad de desyodasas que determinan la concentración intracelular de HT activas e inactivas (Valverde, 2011).

Las HT llevan a cabo sus funciones uniéndose a receptores nucleares específicos de HT (TR), de los cuales se conocen 4 tipos principalmente, llamados  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  (Valverde, 2011). La unión de  $T_3$  con su TR regula la expresión en el gen específico, estimulando o inhibiendo su transcripción (**Figura 6**) (Valverde, 2011).

Las HT son indispensables para la morfogénesis y maduración de casi todos los tejidos y su funcionamiento normal (Solís y Valverde, 2006). Se encargan de regular la actividad y el crecimiento celular, actúan en el desarrollo y maduración del sistema nervioso central, de la función reproductiva y regulan el metabolismo energético (Portulano *et al.*, 2014). Las HT se encargan de aumentar el consumo

de oxígeno, estimular la síntesis de proteínas, favorecen el crecimiento y la diferenciación celular e intervienen en el metabolismo de los hidratos de carbono, los lípidos y las vitaminas (Valverde, 2011).



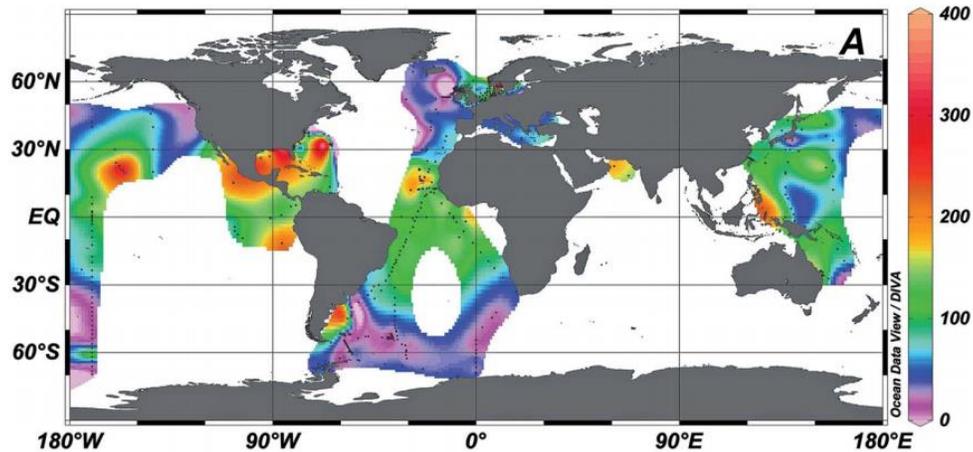
**Figura 6.** Mecanismo de acción de las hormonas tiroideas. Los TR usualmente forman heterodímeros con el RXR. La T3 al unirse a su receptor se reclutan proteínas co-activadoras y se inicia la transcripción. RXR: receptor al ácido retinoico 9-*cis*; TR: receptor a hormonas tiroideas; TRE: elemento responsivo a hormonas tiroideas. D1: Desyodasa tipo 1; D2: Desyodasa tipo 2; D3: Desyodasa tipo 3. Proporcionada por García-Solís y Solís-Sáinz.

La deficiencia de HT disminuye la síntesis y secreción de casi todas las hormonas del organismo y de diferentes proteínas estructurales y catalíticas, que son responsables de la homeostasis celular (Solís y Valverde, 2006).

#### 2.2.4 Distribución del yodo en el ambiente

La mayor concentración de yodo se encuentra en los océanos con concentraciones aproximadas de 50 µg/l. El yodo se encuentra disuelto como iones inorgánicos de yoduro ( $I^-$ ) y yodato ( $IO_3^-$ ). El cociente  $I^-:IO_3^-$  varía según la localización geográfica y profundidad del océano, a mayor latitud y profundidad se concentran mayormente yodato y viceversa, dejando las mayores concentraciones

de yoduro cercanas al ecuador y las zonas costeras (**Figura 7**) (Chance *et al.*, 2014).



**Figura 7.** Distribución y concentración (nM) del yoduro oceánico (Chance *et al.*, 2014).

Al oxidarse el yoduro de la superficie oceánica, este se evapora a la atmósfera y llega a la tierra a través de la lluvia y se deposita en los alimentos (Risher y Keith, 2009).

La solubilidad del yodo hace que su distribución en la tierra no sea uniforme y su concentración sea escasa en regiones montañosas, tierras erosionadas o de constantes inundaciones, en donde el yodo es arrastrado desde los macizos continentales hacia los ríos y océanos (Valverde y Ortiz, 2014). Esto provoca que el contenido de yodo en los alimentos varíe considerablemente según las regiones del mundo en donde se produzcan (American Thyroid Association, 2014).

### 2.3. Deficiencia de yodo

La DY se considera un fenómeno ecológico natural permanente y ampliamente distribuido en la corteza terrestre (Pretell, 2013). Y al presentarse

tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, la DY se considera un asunto de salud pública de importancia global (Pearce *et al.*, 2013).

Este padecimiento ha estado presente en la humanidad a lo largo de la historia, identificándose desde hace más de tres milenios por su manifestación más característica que es el bocio (Valverde y Ortiz, 2014). Desde 1986, se ha reconocido a la DY como la segunda causa de daño mental más frecuente, después de la inanición, que puede ser prevenible (Berbel *et al.*, 2007).

La DY a nivel poblacional se define como una concentración de yodo en orina (yoduria) por debajo de 50 µg/l para la población en general y por debajo de 150 µg/l en el caso de la población gestante y en lactancia (**Tabla 3**) (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

**Tabla 3.** Puntos de corte para evaluar el estado nutricional de yodo (OMS, UNICEF, ICCIDD, 2007).

Mediana de yoduria (µg/L)		Ingesta de yodo	Estado nutricional de yodo
≥6 años (escolar-adulto)	Gestación		
<20	-	Insuficiente	Deficiencia severa
20 – 49	-	Insuficiente	Deficiencia moderada
50 – 99	<150	Insuficiente	Deficiencia leve
100 – 199	150-249	Adecuada	Óptimo
200 – 299	250-499	Más que adecuada	Posibles riesgos leves a la salud
>300	>500	Excesiva	Riesgo a la salud

Para el diagnóstico individual se necesita la recolección de orina de 24 horas por la estrecha relación que existe con la ingesta y la gran variación en la cantidad de excreción a lo largo del día (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

En el caso de evaluaciones poblacionales se pueden utilizar muestras puntuales (casuales) de orina debido a que la variación en la excreción de yodo tiende a la normalidad conforme aumenta el número de muestras, dando así un diagnóstico

poblacional confiable sin la necesidad de realizar las tan complejas recolecciones de orina de 24 horas (American Thyroid Association, 2014; WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

Para evaluar la suficiencia nutricia de yodo de la población, además de la yoduria la WHO, UNICEF, ICCIDD (2007), considera otros 3 indicadores que son sensibles a la DY y que se complementan entre sí (**Tabla 4**).

**Tabla 4.** Indicadores de suficiencia nutricia de yodo (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

Indicador	Parámetros	Sensibilidad
Mediana de yoduria en escolares	>100 µg/L	Ingesta reciente
Mediana de yoduria en embarazadas	>150 µg/L	
Bocio en escolares	<5%	Deficiencia crónica de meses o años
Tiroglobulina en escolares	4-40 µg/L	Deficiencia reciente de semanas
Tirotropina (TSH) neonatal (>5mIU/L)	<3%	Deficiencia de semanas o meses

Al conjunto de todos los problemas que se dan por DY se les engloba en los DDY, que hacen referencia a todas las consecuencias derivadas de la DY (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007). Los DDY son la manifestación a la ausencia de HT, por ingesta insuficiente de yodo, afectando todos los metabolismos en donde las HT participan (Zimmermann, 2009).

Otra causa que contribuye a los DDY, es la deficiencia de micronutrientes como Fe, Zn y Se que acentúan los efectos de la DY (Sawin, 2005). Además, los compuestos químicos llamados bociógenos que están presentes en la naturaleza y en algunos alimentos pueden alterar la función de la GT, evitando la captación de yodo o la síntesis de HT (Gaitán y Cooksey, 1989).

Ya sea por deficiencia de yodo, hierro, zinc, selenio y/o algún bociógeno, la falta de HT o de su funcionamiento, causa daños en todos los ciclos de la vida siendo

los periodos más críticos del segundo trimestre de gestación hasta los 3 años de vida por ser en su mayoría daños irreversibles, pero también la falta de HT es una causa importante de desórdenes tiroideos en adultos (Pretell, 2013; WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007). El tipo de DDY que se manifieste va a estar condicionado según la etapa fisiológica en la que se presente la DY (**Tabla 5**) (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

**Tabla 5.** Espectro de los Desórdenes por deficiencia de yodo (DDY).

<b>Grupos etarios</b>	<b>Desórdenes por deficiencia de yodo</b>
Todas las edades	Bocio
	Hipotiroidismo
	Susceptibilidad aumentada a radiación nuclear
Feto	Aborto espontaneo
	Nacimiento de un niño sin vida
	Anomalías congénitas
Neonato	Mortalidad perinatal
	Cretinismo endémico incluyendo retraso mental con alguna afectación como mudes, displejia espástica, estrabismo, hipotiroidismo y talla baja
	Mortalidad infantil
Preescolares, escolares y adolescentes	Deterioro en la función mental
	Retraso del desarrollo físico
	Hipertiroidismo inducido por yodo
Adultos	Deterioro en la función mental
	Hipertiroidismo inducido por yodo

WHO, UNICEF, ICCIDD (2007).

El cretinismo es la manifestación más severa de los DDY y se presenta normalmente en hijos de madres con DY severa (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007). El cretinismo se caracteriza por retraso mental y puede ser de tipo neurológico (cuadruplejia espástica) o mixedematoso (hipotiroidismo), ocasionando en los

neonatos retrasos del crecimiento y de la maduración ósea (Zimmermann, 2009; Stanbury y Dunn, 2003).

El hipotiroidismo congénito (HtC) y la hipertirotropinemia (TSH > 5 mUI/L) ocurren cuando la madre presenta DY durante la gestación y es la manifestación más común por DY en la gestación (Therrell *et al.*, 2015). Por eso también se utiliza a la proporción de recién nacidos con hipertirotropinemia como indicador de DY y se mide a través de los valores basales de la TSH como parte del tamizaje neonatal (**Tabla 6**) (Vela-Amieva *et al.*, 2003).

**Tabla 6.** Criterios del ICCIDD para evaluar DY según la proporción de hipertirotropinemia.

Porcentaje de la población neonatal TSH >5 mUI/L	Estado nutricio de yodo
< 3	Suficiencia de yodo
3 - 19.9	Deficiencia leve
20 - 39.9	Deficiencia moderada
> 40	Deficiencia severa

Tomado de Vela-Amieva *et al.* (2003)

El HtC se presenta aproximadamente en 1 de cada 2 500 recién nacidos vivos, con un total de 56 000 niños afectados por año (Vela, 2012). En México el tamizaje neonatal se realiza de manera obligatoria a nivel nacional por ser una medida indispensable para poder brindar un tratamiento oportuno al HtC, entre otros padecimientos congénitos (Secretaría de Salud, 2014). La cobertura del tamizaje neonatal en México es de más del 80% de los recién nacidos y se realiza en su mayoría por parte de la Secretaría de Salud y el Instituto Mexicano del Seguro Social (Therrell *et al.*, 2015).

Entre el año 1999 y 2000, un estudio realizado en varios estados de México, encontró una prevalencia de HtC de 1:1,338 con un predominio en el sexo femenino (2:1), dando un porcentaje de 9.95 y clasificando a la población evaluada

con DY leve (Vela-Amieva, *et al.*, 2003). La DY aunque sea leve, afecta la capacidad intelectual de los niños de forma permanente (Vela-Amieva, *et al.*, 2003).

Aunque México se considere un país suficiente de yodo según la Encuesta Nacional de Salud de 1999, se debe mantener una evaluación constante del estado nutricional de yodo, sobre todo en los grupos vulnerables a la DY.

En varios estudios realizados en poblaciones de mujeres gestantes se ha encontrado que existe un porcentaje alarmante de madres con DY (**Tabla 7**) (Vidal *et al.*, 2013; García-Solís *et al.*, 2011; Martínez-Salgado *et al.*, 2002).

**Tabla 7.** Porcentaje de mujeres gestantes con DY en México.

<b>Autores</b>	<b>Año de evaluación</b>	<b>Estado</b>	<b>Participantes (n)</b>	<b>% deficiencia de yodo</b>
Martínez-Salgado <i>et al.</i> 2002	2001	Hidalgo	300	31
García-Solís <i>et al.</i> 2011	2011	Querétaro	294	28
Vidal <i>et al.</i> 2013	2013	Veracruz	212	31.6

En varios estudios se ha observado que incluso DY leves afectan el correcto desarrollo del SNC, manifestándose en menor cociente intelectual (IQ), incluso el trastorno de déficit de atención e hiperactividad (Berbel *et al.*, 2007). Cuando la DY es endémica puede afectar el desarrollo económico y social de toda una región debido a la baja productividad de su población (Stanbury y Dunn, 2003). En regiones yodo deficientes se ha observado una disminución de hasta 13.5 en el coeficiente intelectual de la población en comparación con regiones yodo suficientes (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

#### 2.4. Deficiencia de yodo en las etapas críticas del desarrollo

El yodo está incluido dentro de los micronutrientes de alta prioridad para el neonato junto con el selenio, la vitamina A, la tiamina, la riboflavina y las vitaminas B6 y B12 (Allen, 2003). La concentración de estos nutrientes en el organismo y su disponibilidad para la utilización del embrión o feto está directamente relacionada con la ingesta y el estado nutricional de la madre (Allen, 2003).

En lo que concierne al consumo de yodo, “toda mujer tiene el derecho a un adecuado aporte de yodo para asegurar que su feto se desarrolle normalmente y es un derecho humano del niño el contar con un suministro adecuado de yodo para asegurar su desarrollo normal, incluyendo a los niños por nacer (fetos)” (UNICEF, 1990).

Los periodos críticos del desarrollo van desde la gestación hasta los 3 primeros años (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007). El consumo adecuado de yodo durante el embarazo y la lactancia son esenciales para que la GT sintetice suficientes HT, principalmente T<sub>4</sub> (Berbel *et al*, 2007). La DY durante la gestación condiciona el aumento en la mortalidad perinatal y la aparición de anomalías congénitas por eso se debe aumentar el consumo de yodo a 250 µg/día (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

Durante la gestación, se presentan cambios fisiológicos significativos tanto en la regulación de las HT como en el metabolismo del yodo (García-Solís, 2011). Para mantener un aporte adecuado de HT para la madre y el feto, la GT de la madre aumenta la síntesis de T<sub>4</sub> en un 50% (Glinoe, 2001). El incremento en la síntesis de HT se debe a que por un lado el estradiol estimula el aumento en circulación de la TBG, disminuyendo los niveles de T<sub>4</sub> libre y estimulando el eje HHT (Glinoe, 2001).

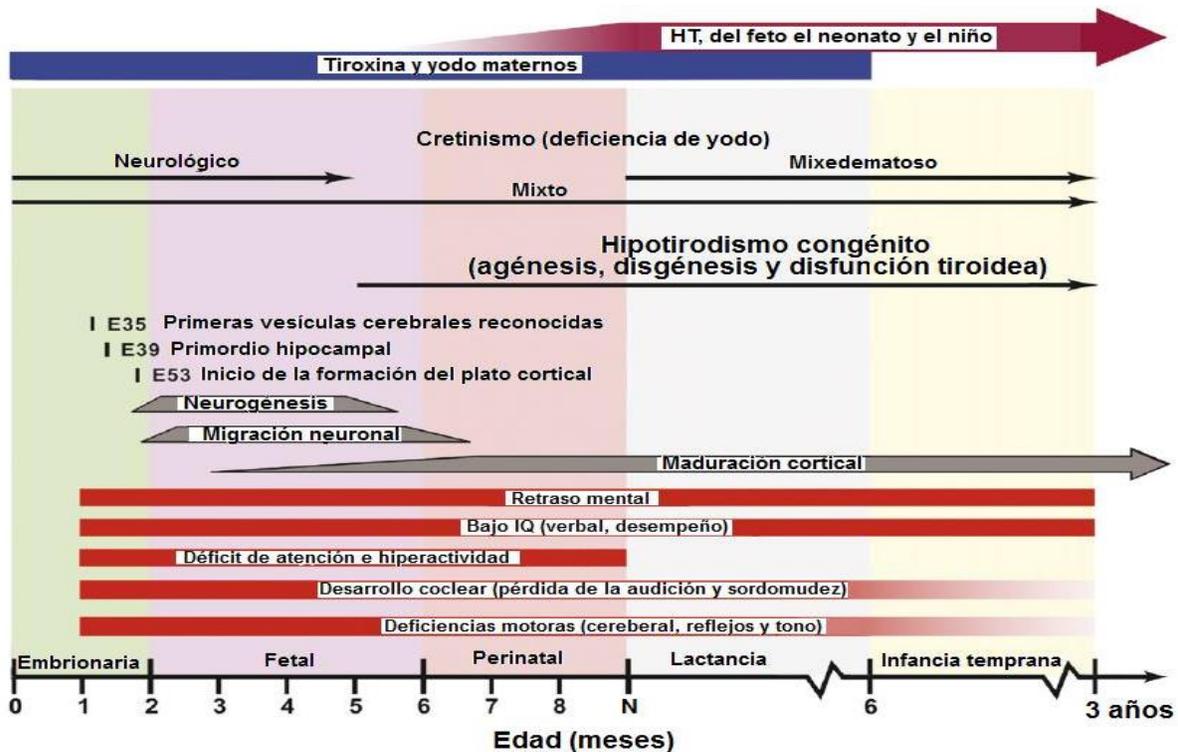
Por otro lado, los altos niveles circulantes de Gonadotropina Coriónica Humana (GCH) producida por el embrión, estimulan la expresión de receptores de T<sub>4</sub> (Glinoe, 2001). La GCH pertenece a la misma familia de hormonas que la TSH, y

debido a la gran cantidad de GCH circulando, esta se une con los receptores TSHRH de la GT causando mayor síntesis y liberación de HT (Glincoer, 2001). Mediante este mecanismo los embriones aseguran un aporte adecuado de  $T_4$ , que es crucial para su correcto desarrollo, independientemente del estado tiroideo de la madre (Glincoer, 2001). Las HT atraviesan la barrera placentaria e influyen directamente sobre el crecimiento neuronal, la migración y desarrollo de arborizaciones dendríticas promoviendo el crecimiento y maduración de los tejidos periféricos (Stanbury y Dunn, 2003). Además del aumento en la síntesis de HT, en el último trimestre el yodo materno es transferido al feto para su propia síntesis de HT (Glincoer, 2001).

Las HT son tan importantes que alrededor de la semana 10 y 12 de gestación el embrión desarrolla su propia GT (Glincoer, 2001). La tiroides fetal es capaz de captar yodo y sintetiza hormonas tiroideas, sin embargo, no es dependiente de TSH fetal sino hasta las semanas 18-20 de gestación (Glincoer, 2001).

El suministro adecuado de  $T_4$  materna desempeña un papel importante en el desarrollo cerebral del embrión, antes de que se inicie la síntesis de HT fetales y en el último trimestre de la gestación cuando se desarrolla el sistema nervioso del feto (Glincoer, 2001). Así el feto de una madre hipotiroidea puede sufrir lesiones neurológicas, mientras que un feto hipotiroideo puede estar parcialmente protegido por la  $T_4$  materna hasta el momento del nacimiento (Glincoer, 2001). Cualquier grado de DY de la madre, por leve que sea, es potencialmente dañino para el desarrollo del cerebro del embrión, el feto y el neonato (Glincoer, 2001).

Cuando las cantidades de yodo no son suficientes, la síntesis de HT disminuye y se produce hipotiroxinemia en la madre que puede tener como consecuencia desordenes del desarrollo neuronal en el neonato (Berbel *et al.*, 2007; Haddow *et al.*, 1999). El feto es muy susceptible a la DY, por lo que una suplementación tardía puede llevar a deficiencias permanentes, sobre todo neuromusculares y cognitivas (**Figura 8**) (Allen, 2003).



**Figura 8.** Principales eventos del neurodesarrollo y alteraciones neurológicas asociadas a la DY durante la etapa embrionaria y neonatal (Berbel *et al.*, 2007).

Una hipotiroxinemia materna prolongada suele tener como resultado un neonato con cretinismo neurológico, que es la afectación más severa, con daño irreversible del sistema nervioso central y anomalías como retraso mental, estrabismo, hipoacusia de moderada a grave que limita el desarrollo del lenguaje y diplejía o tetraplejía (Berbel *et al.*, 2007).

La severidad del daño neuronal depende de la etapa del desarrollo en la que se presenta la DY su severidad, siendo la etapa embrionaria la más susceptible (Berbel *et al.*, 2007). Después del nacimiento, el neonato depende del aporte de yodo que la madre le proporcione mediante la leche materna para abastecerse de yodo y continuar su desarrollo (Glinoe, 2001).

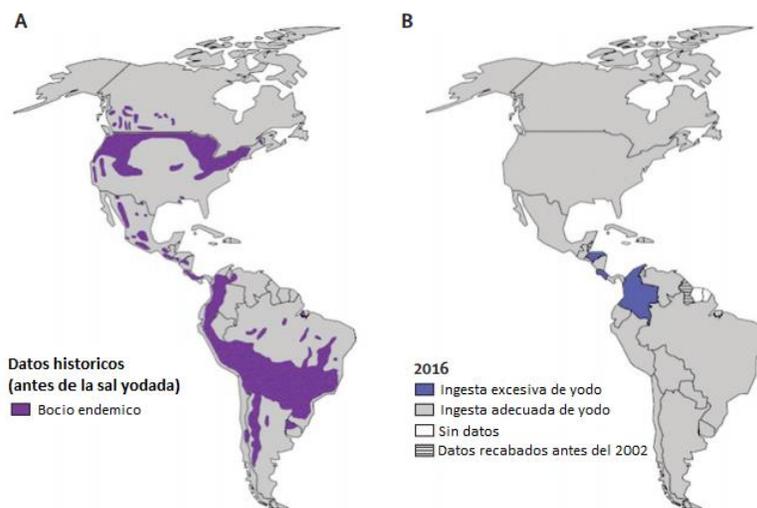
Durante la lactancia, las glándulas mamarias concentran cantidades de yodo para mantener el aporte de yodo hacia el neonato mediante la leche materna, incluso si eso implica una DY para la madre (Zimmermann, 2009). La concentración de yodo

en leche materna puede ser de 20 a 50 veces mayor que en plasma (Leung *et al.*, 2012). Además de la transferencia de yodo la glándula mamaria también transfiere el 40% del total de T<sub>4</sub> del neonato.

## 2.5. Acciones para prevenir y tratar la deficiencia de yodo

Durante las últimas décadas, la eliminación de la DY ha sido una de las metas principales de la OMS mediante esfuerzos a nivel mundial y es la yodación de la sal de mesa una de las principales bases para erradicar los DDY (American Thyroid Association, 2014).

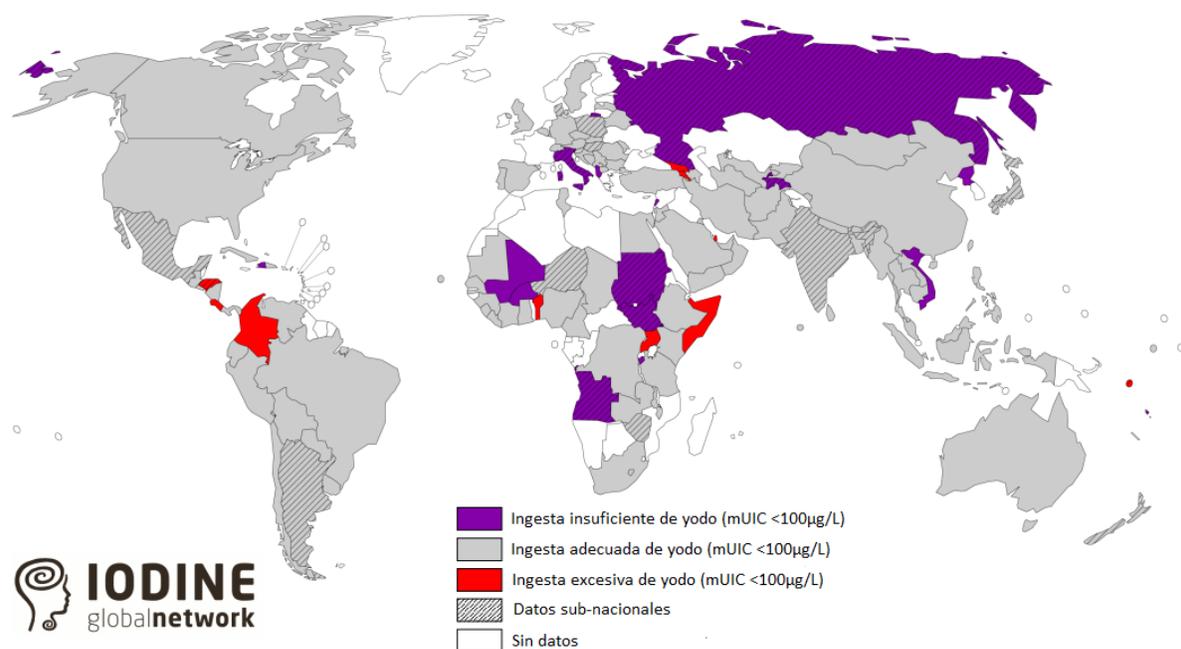
Entre 1930 y 1960 la mayoría de los países de Latinoamérica tenían regiones de bocio endémico con prevalencias por arriba del 50% (**Figura 9A**) (Pretell *et al.*, 2017). Para 1990, pocos países eran suficientes de yodo entre ellos Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Australia, Suiza y países escandinavos. (Stanbury y Dunn, 2003). Un año después, en 1991, los DDY ya se consideraban un problema de salud pública mundial y en 1993 la WHO y la UNICEF hicieron universal la recomendación de yodar la sal como la principal estrategia para erradicar los DDY (WHO, UNICEF, ICCICD, 2007).



**Figura 9.** Estado nutricional del yodo en las Américas (Pretell *et al.*, 2017).

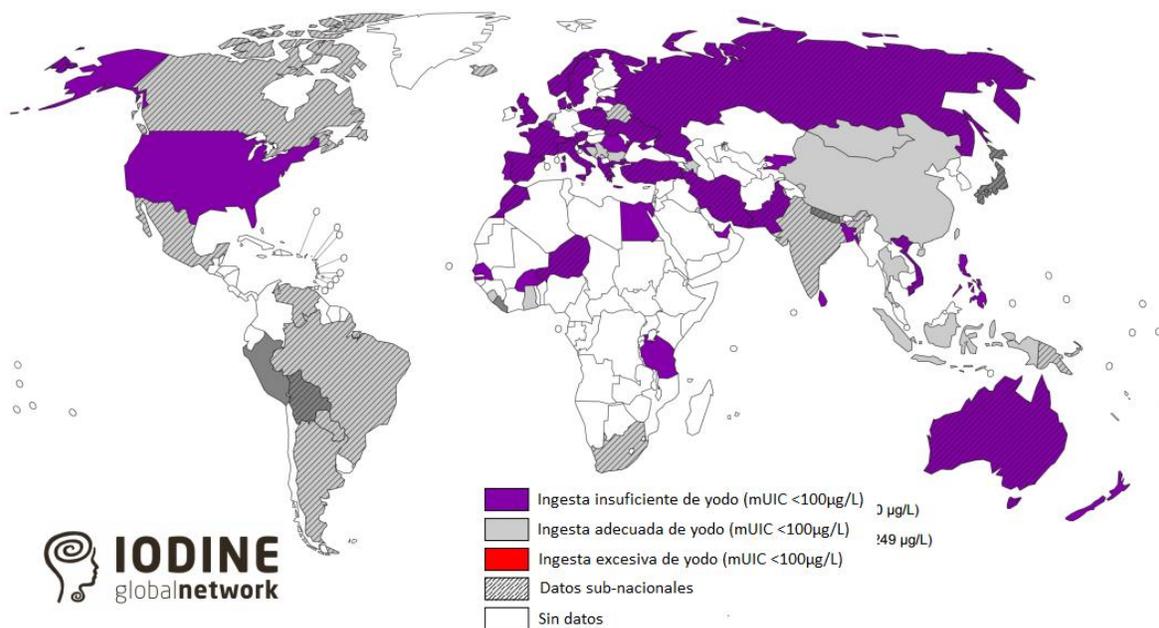
Con la creación y apoyo del *International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders* (ICCIDD) ahora *Iodine Global Network* (IGN), se han logrado mantener con éxito los programas nacionales para la yodación universal de la sal (Pretell *et al.*, 2017). En el 2005, la WHO se comprometió a presentar informes sobre la situación de la DY cada 3 años dado el constante cambio en el estado nutricional del yodo. Desde entonces ha aumentado el número de hogares que consumen sal yodada, ayudando a disminuir el número de países que consideran a los DDY como problemas de salud pública (**Figura 9B**) (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

Actualmente según los reportes del 2016, solo quedan 15 países con DY moderada o leve, de los 136 que se tienen datos registrados (**Figura 10**)



**Figura 10.** Estado nutricional del yodo en escolares. (Gizak, 2016)

El 2016 fue el primer año en que se evaluó a nivel mundial la suficiencia de yodo de la población gestante (**Figura 11**).



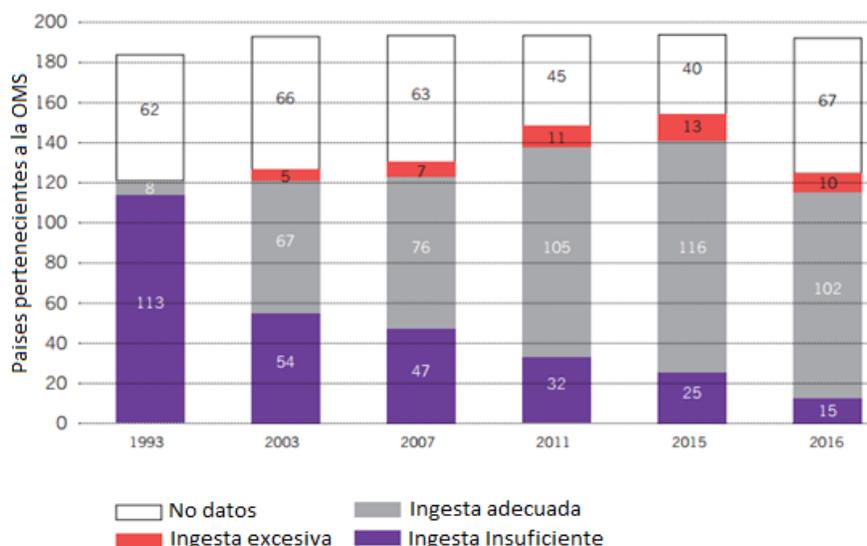
**Figura 11.** Estado nutricional del yodo en mujeres embarazadas (Gizak, 2016).

Los criterios que se utilizan para monitorear la sustentabilidad de la suficiencia de yodo en una población son que más del 90% de los hogares utilicen sal adicionada con las cantidades adecuadas de yodo, según las legislaciones de cada país, y que la yoduria se mantenga en niveles adecuados >100 µg/L para escolares y >150 µg/L para mujeres gestantes (WHO, UNICEF, ICCID, 2007).

Como resultado del esfuerzo en conjunto de gobiernos e instituciones es ahora la región de las Américas la que cuenta con la mayor proporción de hogares con acceso a sal adecuadamente yodada (Pretell *et al.*, 2017). Y este logro se refleja en la reciente desaparición de los desórdenes por deficiencia de yodo del continente americano (Pretell *et al.*, 2017).

El reto es mantener este logro y la clave está en vigilar la sustentabilidad de la yodación universal de la sal con apoyo tanto de los gobiernos como de la industria para asegurar una producción de calidad y con cantidades adecuadas de yodo (Pretell *et al.*, 2017). La monitorización constante también es importante para detectar y corregir de manera oportuna el fallo de algún programa de yodación para evitar el resurgimiento de la DY (Pretell *et al.*, 2017). Un factor que no se

debe de olvidar en mantener y ampliar la concientización acerca de las consecuencias que trae consigo la DY para toda la población y en especial sobre la población más vulnerable. Ahora el nuevo reto es detener y controlar el incremento en el número de países con ingesta excesiva de yodo (**Figura 12**) (Pretell *et al.*, 2017).



**Figura 12.** Progreso en la eliminación de la deficiencia de yodo y aumento en la ingesta excesiva de yodo entre 1993 y 2016 (Pretell *et al.*, 2017).

La ingesta excesiva de yodo también puede ocasionar desordenes tiroideos y es un problema fácil de evitar si se asegura una monitorización constante del estado nutricional del yodo en la población (Pretell *et al.*, 2017).

A pesar de los resultados positivos de la yodación universal de la sal y las mejorías que se han visto desde el 2003 a la fecha en disminuir las DY, los avances han sido muy lentos y aún existen partes del mundo que no cuentan con una ingesta suficiente de yodo (Stanbury y Dunn, 2003; Andersson *et al.*, 2012).

La OMS cuenta con información de encuestas nacionales de la mediana de yoduria de 130 países, que representan el 91.1%, quedando 8.9% de la población sin evaluación de su estado nutricional de yodo (WHO, UNICEF, ICCICD, 2007).

A nivel mundial se estima que 75% de los hogares tienen acceso a sal yodada y en más de 30 países en donde la yodación de la sal esta legislada, el porcentaje de hogares con acceso a sal yodada aumenta a más del 90% (**Tabla 8**) (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

**Tabla 8.** DY de la población mundial y hogares con acceso a sal yodada (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

Regiones (OMS)	Proporción DY (%)	Personas (millones)	Hogares con sal yodada (%)
África	41.5	312.9	66.6
América	11	98.6	86.8
Sureste de Asia	30	503.6	61.0
Europa	52	459.7	49.2
Mediterráneo oriental	47.2	259.3	47.3
Pacífico occidental	21.2	374.7	89.5
Total	30.6	1 900.9	70

Para que la yodación de la sal sea efectiva en corregir la DY, esta sal debe llegar a todos los hogares, especialmente a mujeres embarazadas y niños, y debe aportar las cantidades adecuadas de yodo para alcanzar su IDR (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007). La cantidad de yodo que se recomienda adicionar a la sal es de 20-40 mg/kg con el fin de que alcance la IDR de 150 µg/d, considerando que una persona consume 10g de sal al día y que en el procesamiento de la sal se puede perder hasta un 40% del yodo adicionado. (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

Cuando se introduce la yodación de la sal en regiones con DY crónica, se debe iniciar la yodación de la sal con cantidades de 10 mg/kg de sal y mantener esta cantidad por al menos 5 años para evitar posibles casos de hipertiroidismo en la población ya que la captación de yodo por parte de la GT es mayor en comparación con una persona sin DY (Stanbury y Dunn, 2003).

Para prevenir la DY en las etapas críticas del desarrollo la Asociación Americana de la Tiroides ha recomendado que todas las mujeres embarazadas y en lactancia tomen diariamente un multivitamínico prenatal que contenga 150 µg de yodo, además del uso de sal yodada (American Thyroid Association, 2014).

En las regiones del mundo donde no es posible el uso extensivo de la sal yodada se puede implementar la suplementación total del IDR para yodo que es de 250 µg/día (**Tabla 9**) (American Thyroid Association, 2014).

**Tabla 9.** Dosis recomendada para suplementación total con yodo (WHO, UNICEF, ICCIDD, 2007).

<b>Población vulnerable a la DY</b>	<b>Dosis diaria (µg/d)</b>	<b>Dosis anual única (mg/y)</b>
Mujeres embarazadas	250	400
Mujeres lactantes	250	400
Mujeres en edad reproductiva	150	400
Niños <2 años <sup>1,2</sup>	90	200

- 1) 0-6 meses: la suplementación debe darse a través de la lactancia, suplementando a la madre lactante.
- 2) 7-24 meses: la suplementación se dará a niños que no cuenten con acceso a alimentos complementarios adicionados con yodo.

Otra forma de suplementación a nivel poblacional es agregando yoduro o yodato al agua potable, que además de aportar yodo, ayuda a purificar el agua (Stanbury y Dunn, 2003).

Como medida terapéutica se puede suplementar yodo mediante soluciones de lugol (10 g de yoduro de potasio y 5 g de yodo en 100 mL de agua destilada), administrando 1.5 mL por 30 días (Secretaría de Salud, 2011). Pero cuando la DY no mejora con la suplementación de yodo se debe recurrir a la atención médica para iniciar una terapia sustitutiva de hormonas (Secretaría de Salud, 2011).

La zona central de México solía ser una zona endémica de DY y gracias a la legislación a nivel nacional de la fortificación de la sal con yodo en 1963, México

se considera un país yodo suficiente desde 1999 según los datos de la Encuesta Nacional de Nutrición de tal año. Desde entonces en México no se ha vuelto a realizar un monitoreo nacional para conocer el estado nutricional del yodo de la población y los datos que se conocen son de evaluaciones aisladas en algunas regiones del país.

El monitoreo periódico de los programas de suplementación en las zonas endémicas de DY es de gran importancia ya que una vez establecida la DY, la GT se vuelve susceptible a cambios en la ingesta de yodo, llevando a una rápida reincidencia a la DY (Stanbury y Dunn, 2003).

Está establecido en la NOM-038-SSA2-2010 (Secretaría de Salud, 2011), que la sal para el consumo humano y pecuario debe contener 30 + 10 mg/kg de sal de ion yodo, utilizando para tal fin yodato o yoduro de potasio o de sodio. Sin embargo, en el 2012 COFEPRIS detectó que solo el 76% de la sal comercial cumple con un contenido adecuado de yodo y la tendencia muestra que cada año aumenta el porcentaje de la sal que no cumple con las cantidades especificadas para mantener la suficiencia de yodo en la población mexicana (**Figura 13**).

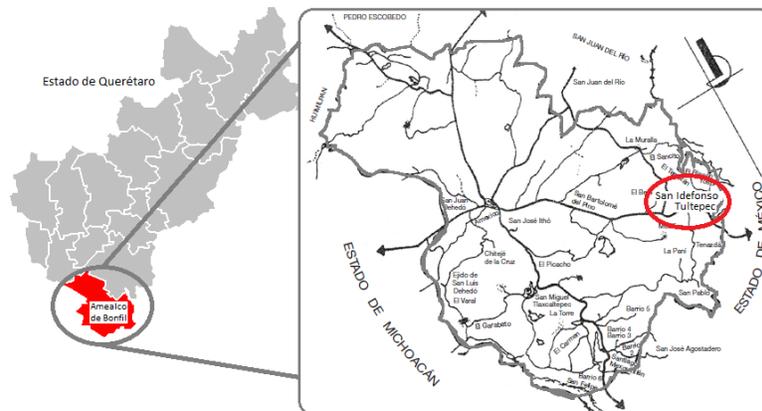


**Figura 13.** Porcentaje de cumplimiento de contenido de yodo (20 – 40 mg/kg) en los últimos 6 años (Martínez-Chapa, 2012).

## 2.6. Características geográficas y demográficas del municipio de Amealco

Amealco tiene una superficie de 682.2 Km (5.8 % de la superficie estatal) y se localiza al sur del Estado de Querétaro entre las coordenadas 100° 08 38" de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, y 20° 11 17" de Latitud Norte y tiene una altura de 2,605 msnm (Morales y Garduño, 2017).

En el municipio de Amealco la avicultura y el cultivo de maíz son predominantes, así como la práctica de la agricultura para el autoconsumo familiar (Morales y Garduño, 2017). En la época prehispánica el territorio del actual municipio de Amealco era una región boscosa; ideal para el establecimiento de grupos otomíes; quienes aún habitan este lugar; conservando sus costumbres y tradiciones ancestrales (Morales y Garduño, 2017). En el municipio existen 34 comunidades de origen Otomí, entre ellas esta San Ildefonso Tultepec cuyo significado es “Cerro de los Tules” o “Lugar de Tules” y cuenta además con varios barrios que son: El Saucito, El Tepozán, El Bothe, El Rincón, Yospí, El Cuisillo, Xajay, Tenasdá, La Piní y Mesillas (**Figura 14**) (Morales y Garduño, 2017).



**Figura 14.** Ubicación geográfica de la comunidad de San Ildefonso (Morales y Garduño, 2017).

Amealco es el segundo municipio más pobre del estado después de Pinal de Amoles con un porcentaje de pobreza mayor al 75% y 30% de la población padece carencia por acceso a la alimentación.

### III. JUSTIFICACIÓN

El embarazo y la lactancia son condiciones fisiológicas que demandan grandes cantidades de nutrimentos en la mujer, convirtiendo la salud materno-infantil en una prioridad de salud pública. La adecuada suficiencia de yodo en las mujeres gestantes y lactantes asegura un aporte adecuado de yodo y HT para el embrión, feto y neonato previniendo daños neurológicos y otros trastornos del crecimiento y desarrollo.

A finales de 1966, se evidenció la relación directa entre deficiencia de yodo y cretinismo gracias a un estudio controlado que se realizó en Papúa, Nueva Guinea (Pharoah *et al.*, 1971). El estudio consistió en 2 grupos de familias, en donde la mitad recibió inyecciones de aceite yodado y la otra mitad placebo (inyecciones salinas) (Pharoah *et al.*, 1971). El resultado fue una dramática disminución de cretinismo y bocio en el grupo tratado en comparación con el grupo control, solo cuando la suplementación con yodo se dio antes del inicio del embarazo (Pharoah *et al.*, 1971).

En la actualidad, a pesar del conocimiento sobre el tema y las recomendaciones de suplementación de yodo durante el embarazo, aún se desconoce el estado de la suficiencia nutricional de yodo en la mayoría de los países pertenecientes a la OMS. En México la suficiencia de yodo de la población gestante se ha estimado únicamente a nivel estatal en los últimos 16 años y según los 3 estudios que se han realizado del 2001 a la fecha, en México existe una prevalencia de DY en mujeres gestantes aproximadamente del 30% (Vidal *et al.*, 2014; García-Solís *et al.*, 2011; Martínez-Salgado *et al.*, 2002). Y ya se ha observado que incluso DY leves pueden afectar el desarrollo neurológico durante la gestación y la infancia temprana. En general la DY encierra a la población en un ciclo en donde las carencias sociales favorecen la DY y a su vez la DY perpetúa el estado de carencias sociales (WHO, UNICEF, ICCIDD. 2007).

Generalmente las deficiencias de nutrimentos se encuentran en poblaciones con altos índices de carencias sociales y pobreza extrema, y en la mayoría de los

casos la deficiencia no es exclusiva de un micronutriente sino de varios, agregando una barrera más para que estas poblaciones vulnerables puedan desarrollarse (Abu-Saad y Fraser, 2010). En un estudio realizado en 50 escuelas primarias de 10 municipios del estado de Querétaro se encontró que a mayor índice de rezago social había mayor DY (García-Solís P, 2013). En este estudio también se encontró que solo el 77% de las muestras de sal analizadas (n=916) tenían cantidades adecuadas de yodo, lo que concuerda con lo publicado por COFEPRIS (Martínez-Chapa, 2012).

Dentro del estado de Querétaro, el municipio de Amealco de Bonfil cuenta con elevados índices de rezago social y marginación, -9 y -39 respectivamente, y es la comunidad de San Ildefonso y sus barrios aledaños en donde los índices son aún mayores, con 44 y 11 respectivamente (**Tabla 10**) (CONAPO, 2010; CONEVAL, 2010).

**Tabla 10.** Características sociales, demográficas y geográficas (INEGI, 2010; CONEVAL, 2010 y CONAPO, 2010; DIF, 2004).

Localidad	Población total <sup>1</sup>	Pobreza extrema <sup>2</sup> (%)	IRS <sup>2</sup>	IM <sup>2</sup>	Talla baja en escolares <sup>3</sup> (%)
México	111 856 203	9.8	-106		13.6
Querétaro	1 823 673	5.2	-27	-29	5–9.9
Amealco	62 197	25.4	-9	-39	14.7
San Ildefonso	6 604	-	44	11	30.74

IRS: índice de rezago social; IM: índice de marginación. La talla baja corresponde a la prevalencia encontrada en el censo nacional de talla de 2004.

Debido a estos datos se esperaba encontrar una yoduria por debajo de 100 µg/l en gestantes > 28% encontrado en la ciudad de Querétaro cuyos índices de pobreza son menores a los de Amealco y la comunidad de San Ildefonso.

#### **IV. HIPÓTESIS**

Las mujeres gestantes y lactantes en San Ildefonso presentan deficiencia de yodo y un estado nutricional inadecuado, llevando a sus hijos menores de seis meses a tener un aporte insuficiente de yodo

#### **V. OBJETIVOS**

##### 5.1. Objetivo general

Evaluar la suficiencia de yodo y el estado nutricional de mujeres gestantes y lactantes y su relación con la suficiencia de yodo de sus hijos menores de seis meses (H<6M).

##### 5.2. Objetivos específicos

- Determinar el estado de nutrición de las mujeres gestantes y lactantes de San Ildefonso, Amealco de Bonfil.
  
- Determinar la suficiencia de yodo de las mujeres gestantes, lactantes, sus H<6M y los escolares de San Ildefonso, Amealco de Bonfil.
  
- Determinar la prevalencia de DY de las madres gestantes, lactantes, sus H<6M y de escolares residentes de San Ildefonso, Amealco de Bonfil.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Diseño

Se realizó un estudio observacional-longitudinal, donde se incluyeron 47 mujeres gestantes residentes de la comunidad de San Ildefonso, en Amealco de Bonfil, Querétaro.

El estudio se realizó en 2 etapas:

1. **Inclusión:** Se realizó el tercer miércoles de cada mes, durante las sesiones de pláticas para embarazadas impartidas en el centro de capacitación de San Ildefonso. En donde se les explicó el proyecto y se les invitó a participar. Las 47 mujeres gestantes que aceptaron participar en el estudio firmaron la carta de consentimiento informado, donaron una muestra casual de orina (MCO) y contestaron un cuestionario para conocer su historia clínica y gineco-obstétrica.
2. **Seguimiento:** Después del parto, se localizaron 36 mujeres en lactancia que siguieron participando en el estudio. Se registró el peso, talla y el porcentaje de grasa corporal de las mujeres lactantes, se les aplicaron 3 recordatorios alimentarios de 24h (R24h) y se les realizó una evaluación socioeconómica, de actividad física y una historia clínica de sus H<6M; adicionalmente donaron una MCO y una muestra de la sal que ellas consumen en sus hogares. Adicionalmente se obtuvieron 31 MCO de sus H<6M, 38 MCO de escolares residentes de San Ildefonso y 9 muestras de alimentos.

#### 6.1.1. Aspectos éticos

Este proyecto de investigación se apegó a la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial y debido a la naturaleza del estudio, el riesgo para las

personas y familias involucradas fue mínimo. Todas las participantes lo hicieron de forma voluntaria. Los datos fueron resguardados por los investigadores y solo fueron utilizados con fines de investigación.

El presente estudio forma parte del proyecto: "Identificación de factores nutricios y endocrinos que regulan la concentración de yodo y hormonas tiroideas en la leche", que fue aprobado por el Comité Estatal de Investigación de los Servicios de Salud del Estado de Querétaro, y por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro.

## 6.2. Sujetos del estudio

Todas las mujeres gestantes residentes de San Ildefonso, Amealco de Bonfil, Querétaro que asistieron a las pláticas para mujeres embarazadas durante los meses de marzo a Julio de 2016. También se evaluaron los H<6M de las participantes y escolares residentes de San Ildefonso que donaron voluntariamente una MCO.

### 6.2.1. Criterios de inclusión

Llevar un cuidado prenatal en el Centro de Salud de San Ildefonso, dependiente de la Secretaría de Salud de Querétaro (SESEQ), cursar el segundo o tercer trimestre de gestación y firmar la carta de consentimiento informado.

### 6.2.2. Criterios de exclusión

Tener un embarazo múltiple, presentar alguna enfermedad o complicación durante el embarazo, consumir medicamentos o sustancias contraindicadas durante el embarazo y/o decidir no participar.

### 6.2.3. Criterios de eliminación

Presentar complicaciones o enfermedades durante el parto o lactancia, decidir abandonar el estudio voluntariamente y/o tener datos o muestras incompletas.

### 6.3. Recolección de datos

A lo largo del estudio se aplicaron formatos para recabar datos de historia clínica y gineco-obstétrica (Anexo 1), datos socioeconómicos (Anexo 2), de actividad física (Anexo 3) y de R24h (Anexo 4).

#### 6.3.1. Historia clínica y gineco-obstétrica

Esta herramienta se utilizó para recabar información y datos personales de las personas incluidas en el estudio. La historia clínica ayuda a tener una descripción general del estado de salud de la persona entrevistada (Secretaría de Salud, 2012). Para este estudio se creó un formato corto con el fin de solo obtener información relevante para el estudio tanto de las participantes y como de sus hijos menores de 6 meses (Anexo 1).

#### 6.3.2. Estudio socioeconómico

Para la estratificación socioeconómica se utilizó el método de Graffar modificado para Venezuela por Méndez-Castellano en 1994 y que ya se ha utilizado en otros estudios en México (Anexo 2). Este método consta de cuatro variables a evaluar: profesión del jefe de familia, nivel de instrucción de la madre, fuente principal de ingreso de la familia y condiciones de la vivienda. Cada variable

está conformada a su vez por 5 ítems de posibles respuestas, a los cuales le corresponde una ponderación decreciente del 1 al 5. La suma de la ponderación obtenida en las cuatro variables evaluadas determina el nivel socioeconómico (NSE) al cual pertenece la persona evaluada. De acuerdo con la escala de ponderación, la clasificación es NSE alto (4-6 puntos), NSE medio alto (7-9 puntos), NSE medio bajo (10-12 puntos), NSE bajo (13-16 puntos) y NSE muy bajo (17-20 puntos).

### 6.3.3. Recordatorio de 24 horas

El estudio del consumo de alimentos en una población ayuda a evaluar y conocer el estado de salud de la persona entrevistada, así como de su comunidad, indicando si existen desequilibrios dietéticos y/o nutricionales (Castell *et al.*, 2015). El recordatorio de 24 horas (R24h), es uno de los métodos más utilizados en epidemiología nutricional y ayuda a determinar la cantidad de alimentos ingeridos, y su aporte de energía y nutrientes (Castell *et al.*, 2015). Además, al recolectar varios R24h se pueden identificar los hábitos alimenticios de una comunidad (Castell *et al.*, 2015). El método de R24h consiste en describir con precisión todos los alimentos y las bebidas consumidas 24 horas antes de la entrevista indicando las cantidades consumidas y las características de esos alimentos (Castell *et al.*, 2015). La fiabilidad de la información recabada depende de varios factores como la edad, memoria, nivel de educación y de cultura del individuo y de la capacidad del entrevistador (nivel de entrenamiento, saber incentivar al participante a responder honestamente y recordar, etc.) (Castell *et al.*, 2015).

Para que se pueda establecer un consumo habitual y aumentar la fiabilidad de la información, se recomienda recolectar de 2 a 5 R24h por lo que a cada participante se le preguntaron 3 recordatorios de 24h durante 3 días consecutivos. Los R24h abarcaron desde el primer alimento consumido después de despertar, hasta el último alimento consumido antes de dormir. De los alimentos consumidos se preguntaron especificaciones como método de preparación, marca del alimento, tiempo de comida y cantidad consumida (Anexo 4) (Castell *et al.*, 2015).

Para facilitarle la medición de los alimentos consumidos a las participantes se utilizaron instrumentos de medidas caseras durante las entrevistas. El volumen de estos instrumentos fue verificado en el laboratorio utilizando pipetas graduadas de 10 mL y los instrumentos utilizados fueron un vaso de 240ml y cucharas de diferentes tamaños (C1=60mL, C2=40mL, C3=20mL, C4=15mL, C5=8mL y C6=5mL).

Para la evaluación de estos recordatorios se utilizó la base de datos del departamento de nutrición del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD A.C.), de la Dra. Rosa Olivia Méndez Estrada y la base de datos

La estimación del consumo de yodo se calculó utilizando la base de datos española de composición de alimentos, bedeca (MICINN y AESAN, 2006).

#### 6.3.4. Actividad física: IPAQ-SF

El cuestionario International *Physical Activity Questionnaire- Short Form* (IPAQ-SF) se ha recomendado por su bajo costo, efectividad y rapidez para evaluar el nivel de actividad física de las personas (Craig *et al.*, 2003). Esta herramienta se creó en 1998 por un grupo de expertos para facilitar la vigilancia de la actividad física basándose en un “estándar de oro” (Craig *et al.*, 2003). El IPAQ maneja 2 versiones: la larga de 31 preguntas y la corta de 9 preguntas (Craig *et al.*, 2003). En este estudio se utiliza la versión corta que se enfoca en 4 niveles de intensidad de actividad física: intensa (ejercicio físico/aeróbicos), moderada (pasear en bicicleta), leve (caminar) y sedentaria (estar sentado) (Craig *et al.*, 2003) (Anexo 3).

Para estimar las necesidades de energía promedio que una mujer adulta necesita por día de acuerdo con la intensidad de su actividad física se utilizó la ponderación de la OMS que es de 1.56 para leve, 1.64 para moderada y 1.82 para intensa (Organización Mundial de la Salud, 1985).

#### 6.4. Mediciones antropométricas

Las mediciones antropométricas pregestacionales se obtuvieron de los expedientes del centro de salud o de la misma participante. Durante la segunda fase, las mediciones antropométricas de talla se realizaron con un estadímetro portátil para medir estatura. Para medir peso y porcentaje de grasa se utilizó una balanza analítica peso-grasa-agua (BF-350 Body Composition Analyzer; Tanita Corporation of América Inc., Estados Unidos) que utiliza bioimpedancia para evaluar la composición corporal. Las mediciones se realizaron siguiendo los lineamientos establecidos en el manual público de procedimientos para proyectos de nutrición del Instituto Nacional de Salud Pública (Shamah *et al.*, 2006).

#### 6.5. Análisis de muestras

Las determinaciones realizadas en las muestras obtenidas fueron: concentración total de yodo en sal de mesa, alimentos de consumo habitual en San Ildefonso, leche materna y orina de mujeres gestantes-lactantes, sus H<6M y de escolares residentes de San Ildefonso. Los coeficientes de variación de los inter-análisis de concentración de yodo fueron en promedio de 4%, 5% y 5% para las muestras de orinas, leches y alimentos, respectivamente.

##### 6.5.1. Muestra de sal

Por legislación nacional en México la sal de consumo comercial e industrial debe estar adicionada con yodo. Para determinar la cantidad de yodato de potasio adicionada a la sal que consumen las participantes en sus hogares se utilizó el método de titulación con tiosulfato de sodio. El fundamento de la medición es que

en medio ácido el yodo elemental es liberado del yodato bajo influencia de una cantidad de yoduro.

El yodo liberado es titulado con una solución de tiosulfato de sodio 0.005N, adicionando una solución indicadora de almidón cerca del punto de equivalencia observable cuando el yodo liberado amarillo se torna pálido.

El análisis fue llevado a cabo por la Mtra. Cuenca, en el Laboratorio de Endocrinología y Nutrición de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro, bajo la supervisión del Dr. García Solís.

#### 6.5.2. Muestra de orina

La medición de yodo en orina de muestras casuales se considera un buen indicador para evaluar los cambios en el consumo de yodo y la suficiencia de yodo a nivel poblacional (Organización Mundial de la Salud, 2014). Pero no se considera un buen indicador a nivel individual por la variación que existe en la yoduria de una persona día con día, o incluso durante el transcurso de un mismo día (Organización Mundial de la Salud, 2014). Estas variaciones tienden a equilibrarse entre grupos de poblacionales siendo una medida que ayuda a evaluar el consumo de yodo a escala poblacional, y se toma la mediana de la yoduria de la población para determinar si existe suficiencia o deficiencia en dicha población (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Para este estudio se recolectaron muestras casuales de orina, utilizando frascos estériles de boca ancha, de mujeres gestantes y lactantes, sus H<6M y escolares residentes de San Ildefonso. Al ser muestras casuales de orina no importa la hora de recolección.

A las mujeres gestantes y los escolares se les solicitó un volumen de entre 20 y 40 mL de orina. Y para la muestra de orina de los H<6M se les pidió a las madres que colocaran un trozo de algodón estéril dentro del pañal del bebe para recolectar la orina del neonato. En los casos en donde los H<6M no alcanzaron a humedecer el

algodón con suficiente orina se procedió a obtener la orina de forma manual, colocando el frasco cuidadosamente en el área genital para recolectar la orina.

Después de recolectar las muestras, estas se almacenaron en una hielera con bolsas de gel congelado y se transportaron a las instalaciones de la Facultad de Medicina de la UAQ. En el laboratorio se hicieron 5 alícuotas por cada participante, utilizando microtubos de 2 mL con tapa transparente. Para hacer las alícuotas de las muestras se utilizaron pipetas Pasteur. Una vez terminadas las alícuotas, estas se rotularon adecuadamente y se almacenaron a -80°C para su posterior análisis.

Cuando se tuvo un número considerable de muestras se procedió al análisis de la yoduria siguiendo la técnica para microplaca de Sandell-Kolthoff (S-K) según el método descrito por Pino *et al.* (1996). El método se basa en la determinación espectrofotométrica del yodo. La reacción de S-K utiliza como catalizador al yodo para que el arsénico (III) reduzca al sulfato sérico (IV; amarillo) a sulfato ceroso (III, incoloro). La reacción general es:  $2 \text{Ce (IV)} + \text{As (III)} \rightarrow 2 \text{Ce (III)} + \text{AS (V)}$ . La reacción de S-K es una reacción de primer orden con respecto al yodo en condiciones ácidas. Por lo tanto, el cambio de coloración que ocurre durante la reacción puede ser usada para determinar la concentración de yodo en orina cuando se compara con una curva patrón de estándares conocidos de yodo. Para evitar la contaminación de las muestras se trabajó en un área del laboratorio exclusiva para la medición de yodo en orina.

Para la curva estándar se usaron concentraciones de yodato de potasio a: 0, 10, 20, 50, 100, 150 g/L. La cuantificación se realizó por duplicado, dos días consecutivos. En los casos donde los valores se salieron de la curva estándar, las muestras de orina se diluyeron con agua tridestilada y se repitió la medición, y para obtener el valor final real se multiplico el resultado final según el valor de dilución de la muestra.

Para la clasificación de los valores de todas las yoduria se emplearon los criterios internacionales de la WHO, UNICEF, ICCIDD (2007) (**Tabla 4**).

### 6.5.3. Muestras de alimentos

La cuantificación del consumo de yodo es difícil de realizar por la gran variabilidad que existe en el contenido de yodo en los alimentos y es poco común que las bases de datos de alimentos contengan la cantidad de yodo que aportan los alimentos.

Al finalizar la aplicación de R24h se observó que el consumo de fuentes principales de yodo fue nulo, y por eso se decidió analizar el contenido de yodo de los 4 alimentos de consumo habitual en la comunidad, que se consideran fuentes secundarias de yodo.

El resultado del análisis del contenido de yodo en alimentos ayudó a realizar la estimación del consumo de yodo de las participantes, además del aporte de yodo de la sal yodada.

Los alimentos analizados fueron huevo regional, tortillas de maíz caseras, pan bolillo regional y quelites silvestres. Se tomaron muestras de alimentos de 3 barrios de San Ildefonso: Yosphi, Rincón y el centro de San Ildefonso. Las muestras fueron depositadas en bolsas herméticas al momento de la recolección para evitar el exceso de humedad y después de congelaron a -20°C hasta su procesamiento de secado.

El proceso de secado de los alimentos se llevó a cabo en el Departamento de Nutrición Animal, de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro por la Dra. Araceli Aguilera Barreyro. El secado se realizó siguiendo el método estándar de la AOAC (1990).

Las muestras de alimentos liofilizadas se analizaron siguiendo el proceso estandarizado de determinación de yodo total en alimentos por la reacción S-K en el Laboratorio de Análisis de Yodo de la Sección de Endocrinología, Nutrición y Diabetes de la Universidad de Boston, bajo la supervisión de la Dra. Xue-Mei y el Dr. Lewis Braverman. El procedimiento se basa en el método de Pino *et al.* (1996). Para llevar a cabo la reacción de S-K es necesario digerir la muestra con ácido

clórico en baño de arena caliente. La medición de la concentración total de yodo se llevó a cabo en el autoanalizador Autocom.

#### 6.5.4. Muestras de leche materna

Debido a las fluctuaciones fisiológicas del yodo la concentración total de yodo en leche materna de una misma persona da resultados variables. Para obtener un valor más representativo de la concentración de yodo en leche materna, se recomienda analizar varias muestras, durante varios días consecutivos (Kirk *et al.*, 2012). Y se recomienda interpretar los resultados en relación a la ingesta reciente de yodo (Leung *et al.*, 2012).

En este estudio se recolectaron tres muestras casuales de leche materna durante 2 días consecutivos. En cada día se recolectó una muestra en la mañana entre 8 y 11 am, una muestra a medio día entre 12 y 3 pm y una muestra por la tarde entre 3 y 6 pm. Las muestras de leche humana una vez recolectadas se congelaron inmediatamente en hielo seco (CO<sub>2</sub>) -78.5°C. La concentración de yodo en leche materna se analizó siguiendo el mismo procedimiento señalado anteriormente en los alimentos.

#### 6.6. Calculo del requerimiento energético basal

Es necesario conocer el Requerimiento Energético Basal (REB) de una persona para poder hacer una evaluación de su estado nutricional y poder estimar si su consumo calórico es adecuado. El uso de ecuaciones estandarizadas es el método más común para estimar el gasto energético de una persona. Debido a la individualidad de cada persona comúnmente estas estimaciones tienen un gran margen de error (Frankenfield *et al.*, 2005).

La ecuación de Mifflin-St.Jeor es la más confiable con un margen de error del  $\pm$  10%. Esta ecuación se deriva de una muestra de 498 personas con diferentes

pesos (normal, sobrepeso, obesidad y obesidad mórbida) y una edad de entre 19 y 78 años ( $44.5 \pm 14.1$ ), pero en la validación de esta ecuación no se especificó la entidad racial de estas personas y tiende a ser más precisa en personas obesas que en personas con bajo peso (Frankenfield *et al.*, 2005).

Otra de las ecuaciones más utilizadas es la de la OMS, que se basa en población europea joven en su mayoría hombres, pero se desconoce el margen de error de esta ecuación. Para la validación de esta ecuación se incluyeron 2279 hombres y 247 mujeres, 45% de las cuales eran de descendencia Italiana (Frankenfield *et al.*, 2005; OMS, 1985). Para este estudio se utilizó la fórmula de la OMS por tener el mayor número de mujeres en su validación y distinguir entre grupos de edad (**Tabla 11**).

**Tabla 11.** Ecuación para estimar el GEB en mujeres (OMS, 1985).

Edad (años)	Ecuación
18 – 30	$13.3 \times \text{peso (kg)} + 334 \times \text{altura (m)} + 35$
31 – 60	$8.7 \times \text{peso (kg)} - 25 \times \text{altura (m)} + 865$
>60	$9.2 \times \text{peso (kg)} + 637 \times \text{altura (m)} - 302$

### 6.7. Análisis estadísticos

Los resultados de las características cuantitativas se reportaron en promedios con desviaciones estándar y los cualitativos en porcentajes. El estado nutricional de la población se determinó siguiendo los puntos de corte recomendados por WHO, UNICEF, ICCIDD (2007).

Se realizaron correlaciones de Spearman de una cola con variables para distribuciones no paramétricas. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software GraphPad Prism 7 (GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA) y el Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). La significancia estadística se definió como un valor de  $p < 0.05$ .

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Características sociodemográficas de la población evaluada.

La edad de las 36 madres evaluadas durante la gestación y la lactancia fue entre 16 y 38 años, con una edad promedio de  $25.8 \pm 6.0$  años, indicando una población en su mayoría joven. El 25% fueron primigestas y el otro 75% en promedio han tenido  $3.0 \pm 2.0$  embarazos con un periodo intergenésico promedio de  $3.0 \pm 2.4$  años, siendo adecuado en el 59.3% de las participantes e inadecuado en el 40.7% (**Tabla 12**).

En poco más del 40% de las participantes hubo periodos intergenésicos menores de 2 años. Se sabe que un periodo intergenésico corto es un factor de riesgo para el estado nutricional de la madre por el desgaste fisiológico y la gran demanda de nutrientes que la etapa de gestación requiere (Allen, 2003). En lo concerniente al yodo, se ha observado que a lo largo de la gestación y la lactancia las reservas de yodo de la GT se vacían y un periodo intergenésico corto no permite el restablecimiento del almacén de yodo de la GT, aumentando el riesgo de DY durante el siguiente embarazo (García-Solís *et al.*, 2011; Gowachirapant *et al.*, 2009; Tahirović H. *et al.*, 2009; Ategbó *et al.*, 2008; Stilwell *et al.*, 2008).

El nivel socioeconómico encontrado fue en su mayoría bajo en un 66.7% y muy bajo en el 27.8%, solamente 2.8% en medio bajo y 2.8% en medio alto (**Tabla 12**). El 69.4% de las madres tuvo un parto eutócico y el 30.6% requirió intervención quirúrgica para cesárea (**Tabla 12**).

### 7.2. Estado Nutricional de las mujeres gestantes y lactantes.

El IMC pregestacional fue en promedio de  $24.3 \pm 4.1$  kg/m<sup>2</sup>, siendo normal en el 52.8%, bajo en el 8.3%, con sobrepeso en 30.6% y con obesidad en 8.3% y de acuerdo al IMC pregestacional de cada participante, el 38.9% no alcanzó una ganancia de peso adecuada según los parámetros de la NOM-007-SSA3-2016.

**Tabla 12.** Características generales de la población evaluada

	Gestación	Lactancia
N	36	36
Edad (años)	25.8 ± 6 (16-38)	
Trimestre de gestación (%)		NA
Segundo	36.1	
Tercero	63.9	
Primigestas (%)	25	
Total de hijos	3 (2-7)	
Periodo Intergenesico (años)	3 ± 2.4	
IMC pregestacional (kg/m <sup>2</sup> )	24.3 ± 4.1	
Estado nutricio pregestacional (%)		
Bajo peso	8.3	
Normopeso	52.8	
Sobrepeso	30.6	
Obesidad	8.3	
IMC postparto (kg/m <sup>2</sup> )	NA	25.6 ± 4.1
Estado nutricio postparto (%)	NA	
Bajo peso		0.0
Normopeso		52.8
Sobrepeso		33.3
Obesidad		13.9
Ganancia de peso gestacional (kg)	10.7 ± 4.7	NA
Ganancia de peso gestacional (%)		NA
Insuficiente	38.9	
Adecuado	16.7	
Excesivo	36.1	
Sin dato	8.3	
Nivel socioeconómico (%)		
Muy bajo	27.8	
Bajo	66.6	
Medio bajo	2.8	
Medio Alto	2.8	
Tiempo de suplementación (%)		
Siempre	38.9	Ninguna
Periódicamente	58.3	
Nunca	2.8	
Tipo de suplementación (%)	Ácido fólico: 44.4	NA
*M=multivitamínico	Ácido fólico + hierro: 16.7	
	M con 100 µg yodo: 33.3	
	M sin yodo: 2.8	
	Sin suplemento: 2.8%	
Tipo de parto (%)	Cesárea: 30.6	NA
	Eutócico: 69.4	

La ganancia de peso durante el embarazo en promedio fue adecuada con  $10.7 \pm 4.6$  Kg. El peso al nacer de los hijos en promedio también fue adecuado con  $3\ 281 \pm 670$  g, siendo el 55.6% de los hijos del sexo femenino y 44.4% del sexo masculino.

El IMC durante la lactancia en promedio fue de  $25.6 \pm 4.1$  kg/m<sup>2</sup>. El porcentaje de madres evaluadas con normopeso fue mayor al nacional rural reportado por la ENSANUT 2012 (52.8 vs 33.1%, respectivamente) y viceversa el porcentaje de sobrepeso y obesidad en las mujeres evaluadas fue menor al nacional rural (57.2 vs 65.6%) y al comparar con la prevalencia nacional la diferencia es aún mayor (57.2 vs 73%) (**Tabla 12**) (Gutiérrez *et al.*, 2012). En contraste, la prevalencia de bajo peso encontrada fue mucho mayor que la prevalencia nacional rural de la ENSANUT 2012 (8.3 vs 1.3%), incluso al comparar con el grupo de mayor prevalencia para bajo peso que es mujeres de 20 a 29 años (3.3%) (Gutiérrez *et al.*, 2012), indicando un consumo energético por debajo del consumo promedio en comparación tanto de áreas rurales como urbanas.

El porcentaje de bajo peso durante la lactancia desapareció (0%), esto es esperado considerando el aumento de peso durante la gestación y la acumulación de reservas (Allen, 2003). El porcentaje de grasa corporal de las participantes en promedio se encontró en un rango adecuado para una mujer sin la demanda de la lactancia, con  $30.1 \pm 6.2\%$  a su  $7.6 \pm 4.5$  semanas posparto en promedio (**Tabla 12**). El bajo porcentaje de grasa corporal de las mujeres lactantes concuerda con la baja ingesta de lípidos (**Tabla 13**).

### 7.3. Suplementación de yodo durante la gestación y la lactancia.

Durante la gestación el 97.2% tomo algún tipo de suplementación de vitaminas y/o nutrimentos inorgánicos. De este porcentaje, el 38.9% recibió suplementos durante todo el embarazo, el 30.6% solo durante el segundo y tercer trimestre, el 2.8% solo el segundo trimestre y el 25% solo recibió suplementos durante el tercer trimestre.

De los suplementos consumidos el 44.4% recibió solo ácido fólico, 13.9% recibió ácido fólico y hierro, 2.8% recibió ácido fólico, hierro y calcio, 2.8% adquirió un multivitamínico sin yodo y 33.3% recibió un multivitamínico con 100 µg de yodo. Del 33.3% que recibió suplementación con yodo durante el embarazo, solo el 13.9% recibió suplementación con 100 µg yodo durante el primer trimestre (**Tabla 12**).

El 2.8% de las participantes que suspendieron la suplementación en el tercer trimestre se debió a su temor por el excesivo aumento de peso y la creencia personal de que las vitaminas y nutrimentos inorgánicos favorecen el aumento de peso. La falta de educación en temas de nutrición y salud suponen un riesgo más para las poblaciones de bajos recursos (Campos *et al.*, 2016; García-Solís *et al.*, 2013; Abu-Saad y Fraser, 2010). En población universitaria el conocimiento acerca de la importancia del yodo durante la gestación es poco, el 37.6% declaró conocer el aumento en el requerimiento de yodo durante la gestación y el 14.9% declaró conocer el impacto de la DY en el neurodesarrollo (Méndez-Villa *et al.*, 2014). En España, el conocimiento encontrado sobre el tema de la importancia de la suplementación con yodo fue de 8% (Berbel *et al.*, 2009). Es necesario fortalecer la educación sobre la importancia de mantener una adecuada ingesta de yodo antes y durante la gestación y la lactancia como medida preventiva ante la DY.

El aporte adecuado de yodo antes y durante el primer trimestre es crucial para alcanzar un óptimo neurodesarrollo (Berbel *et al.*, 2009; Berbel *et al.*, 2007). La suplementación tardía en el segundo y tercer trimestre en poblaciones yodo deficientes aumenta el porcentaje de desarrollo tardío y por lo contrario una suplementación adecuada durante el primer trimestre de gestación favorece un desarrollo normal e incluso promueve un desempeño adelantado en los infantes (Berbel *et al.*, 2009).

Una revisión sistemática demostró que a pesar de que un país tenga un sistema de yodación universal de la sal exitoso, la suplementación con yodo en la gestación y lactancia es necesaria para cubrir sus requerimientos extras de yodo (Nazeri *et al.*, 2015).

La Asociación Americana de Tiroides recomienda suplementar con 150 µg de yodo (Alexander *et al.*, 2017). Nuestros datos sugieren que en países yodo suficientes como México, la suplementación con 100 µg de yodo al día pudiera ser suficientes para cubrir los requerimientos extra de la gestación y la lactancia.

#### 7.4. Ingesta de líquidos, macro y micronutrientes de las mujeres lactantes

El consumo de líquidos de las mujeres lactantes evaluadas fue muy bajo. El volumen de leche materna varía ampliamente, pero para bebés de cuatro meses de edad que reciben lactancia exclusiva, casi siempre es de 700 a 800 mL por día (Latham, 2002). La recomendación del consumo de líquidos en población no lactante va en relación 1:1 con las Kcal a ingerir según el gasto energético total (GET) de la persona, pero en los primeros meses de la lactancia el requerimiento de líquidos aumenta hasta 800 mL por día, dando una relación Kcal:mL recomendada de 1:1.3. En la población evaluada la relación promedio Kcal:mL fue de 1:0.8, casi la mitad de lo recomendable (**Tabla 13**).

**Tabla 13.** Consumo de líquidos, energía, macro y micronutrientes en mujeres lactantes.

n= 33	Media	D.E.	IDR
Líquidos (mL/d)	1552.8	475.1	3188
Energía (Kcal/d)	1976.4	552.5	2388
Proteínas (g/d)	64.3	19.6	69
Lípidos (g/d)	41.5	17.9	-
Hidratos de carbono (g/d)	353	105.6	-
Fe (mg/d)	10	3.4	15
Na (mg/d)	2250.2	672.9	500 (mínimo)
Zn (mg/d)	9.4	2.8	19
Vit A (RE/d)	404.8	319.1	850
Yodo (µg/d)	88*	42	250

\*Representa solo el 64% del consumo real estimado por excreción.

Del total de energía ingeridas por las mujeres lactantes, la distribución promedio de macronutrientes fue de 64% y de 13% para hidratos de carbono y proteínas respectivamente, indicando una distribución dentro de los rangos recomendados por la OMS y la FAO de 50-75% para hidratos de carbono y 10-20% para proteínas. La distribución de lípidos fue de 19% por debajo de lo recomendado de 20-35%.

#### 7.5. Contenido total de yodo en muestras de sal y alimentos.

De las 34 muestras evaluadas de sal casera el 82.4% cumplió con un contenido de yodo según la normativa mexicana (20-40 ppm), 5.9% presentó un contenido por arriba de 40 ppm, 5.9% estuvo entre 15.5 y 19.9, y 5.9% por debajo de 15 ppm. En promedio el contenido de yodo en la sal casera evaluada fue de  $28 \pm 7$  ppm.

El porcentaje de muestras de sal con un contenido de yodo por debajo de 15 ppm, concentración mínima requerida por la Organización Mundial de la Salud, fue de 5.9%. En los últimos años el porcentaje de sal con concentraciones de yodo menores 20 ppm, ha aumentado y aunque México es considerado un país yodo suficiente, la falta de vigilancia en la sustentabilidad en el programa nacional de yodación de la sal puede causar el resurgimiento de la deficiencia de yodo como problema de salud pública en México, como ha sucedido en otros países como Vietnam. En el 2005, Vietnam declaró la yodación de la sal voluntaria después haber alcanzado la suficiencia nutricional de yodo tras 15 años del establecimiento mandatorio de la yodación de la sal. Como resultado la suficiencia nutricional de yodo disminuyó, por lo que en el 2016 Vietnam restableció su programa de yodación de la sal (Alexander *et al.*, 2017).

De las muestras de alimentos analizadas para contenido de yodo, las muestras de pan y huevo fueron las que tuvieron mayor contenido de yodo con un promedio de  $53.5 \pm 15.0$  µg/100g y  $21.0 \pm 13.5$  µg/100g, respectivamente. Mientras que las muestras de quelites y tortilla solo tuvieron  $5.7 \pm 0.7$  µg/100g y  $2.7 \pm 1.6$  µg/100g,

respectivamente (**Tabla 14**). Y en el análisis para el contenido de hierro el pan presentó la mayor cantidad con un promedio de  $3.6 \pm 0.5$  mg/100g y huevo, quelites y tortilla tuvieron cantidades similares con promedios de  $1.6 \pm 0.2$  mg/100g,  $1.8 \pm 0.0$  mg/100g,  $1.6 \pm 1.3$ -mg/100g, respectivamente (**Tabla 14**).

**Tabla 14.** Contenido de yodo y hierro en alimentos de consumo común en San Ildefonso, Amealco de Bonfil.

Alimento	g/porción	Yodo		Hierro	
		$\mu\text{g}/100\text{g BH}$	$\mu\text{g}/\text{porción}$	$\text{mg}/100\text{g BH}$	$\text{mg}/\text{porción}$
Pan	59	$53.5 \pm 15$	$27.3 \pm 7.6$	$3.7 \pm 0.5$	$2.1 \pm 0.3$
Huevo	51	$21.0 \pm 13.5$	$12.4 \pm 7.9$	$1.6 \pm 0.2$	$0.8 \pm 0.1$
Quelites	20	$5.7 \pm 0.7$	$1.1 \pm 0.1$	$1.8 \pm 0.0$	$0.4 \pm 0.0$
Tortilla de maíz	43	$2.7 \pm 1.6$	$1.2 \pm 0.7$	$1.6 \pm 1.3$	$0.7 \pm 0.5$

<sup>a</sup>BH: Base húmeda. Se muestra el promedio  $\pm$  la desviación estándar.

7.6. Suficiencia de yodo en población gestante, lactante, menores de 6 meses y escolares.

La mediana de la yoduria de las mujeres gestantes fue de  $171 \mu\text{g}/\text{L}$ , de las madres lactantes  $134 \mu\text{g}/\text{L}$ , de los H<6M  $295 \mu\text{g}/\text{L}$  y de los escolares  $471 \mu\text{g}/\text{L}$  (**Tabla 15**).

**Tabla 15.** Yoduria de mujeres gestantes, lactantes, su H<6M y escolares.

	Gestación	Lactancia	H<6M	Escolares
n	46	36	31	38
Edad (años o semanas*)	$26 \pm 6.5$	$25.8 \pm 6$	$7.6 \pm 4.5^*$	NA
Yoduria <sup>a</sup> , $\mu\text{g}/\text{L}$	171	134	295	471
IQR <sup>b</sup> , $\mu\text{g}/\text{L}$	118 – 274	99 – 201	199 – 614	196 – 700
% Yoduria <150 $\mu\text{g}/\text{L}$	42			
% Yoduria <100 $\mu\text{g}/\text{L}$		25.0	0.0	5.6

<sup>a</sup>Se muestra la mediana. <sup>b</sup>IQR: Rango intercuartil (P25-P75).

El 41.7% de las gestantes presentaron una yoduria <150 µg/L, mientras que el 25.0%, 5.6% y 0.0% de las mujeres lactantes, escolares y H<6M, respectivamente, presentaron una yoduria <100 µg/L. Estos datos muestran claramente que no hay DY. Sin embargo, el porcentaje de ganancia adecuada de peso (16.7%) y suplementación adecuada (13.9%) durante el embarazo fue muy bajo en este estudio y concuerda con el alto porcentaje de mujeres con yoduria <150 µg/l.

Estudios epidemiológicos en Estado Unidos, Suiza, Rusia y España, han demostrado que la DY leve o moderada causa alteraciones neurológicas, incluyendo la reducción del IQ y el trastorno de déficit de atención (Berbel *et al.*, 2009; Berbel *et al.*, 2007; Kasatkina *et al.*, 2006; Kooistra *et al.*, 2006; Vermiglio *et al.*, 2004; Pop *et al.*, 2003; Haddow *et al.*, 1999; Pharoah *et al.*, 1971).

En los últimos 10 años solo se han realizado dos estudios de manera regional en mujeres embarazadas en las capitales de los estados de Veracruz y Querétaro, en donde la mediana de la yoduria fue 150.4 µg/L y 260 µg/L, coincidiendo con la yodo suficiencia de las mujeres gestantes evaluadas (Vidal *et al.*, 2014; García-Solís *et al.*, 2011).

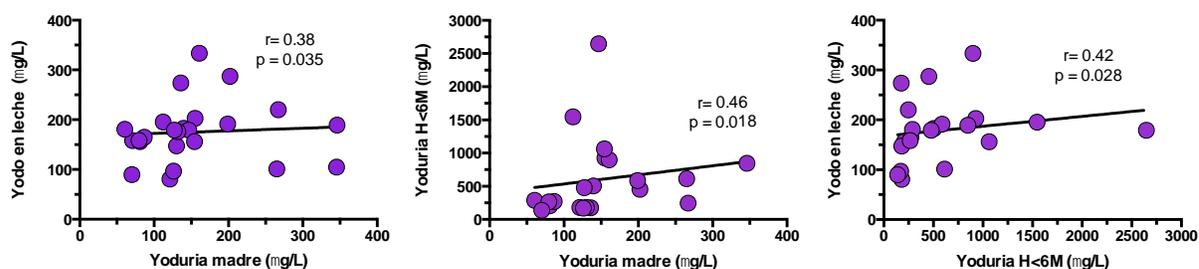
El exceso de yodo encontrado en los escolares de este estudio coincide con la evaluación estatal que fue realizada en el 2015, donde la mediana de la yoduria fue 428 µg/l (Méndez-Villa *et al.*, 2016). Méndez-Villa *et al.* (2016) señalan la importancia de conocer la cantidad de yodo en los alimentos ya es muy difícil hacer estimaciones precisas sobre el consumo de yodo y sus fuentes.

En este trabajo se cuantifico yodo en 4 alimentos de alto consumo en la comunidad de estudio sin embargo no explican del todo de donde proviene el yodo que ingieren las personas. La principal fuente de yodo que podría explicar el consumo adecuado del halógeno es el consumo de sal. Es necesario hacer estimaciones del consumo de sal a través de la excreción urinaria de sodio de 24 h para poder estimar el consumo diario de yodo y determinar cuál es la contribución de la sal al consumo total de yodo. Al mismo tiempo es necesario establecer el contenido de yodo en otros alimentos.

Por otra parte, el exceso de yodo en escolares no presenta grandes riesgos para la salud en comparación con los riesgos que la DY provoca durante la gestación y la lactancia (Gizak *et al.*, 2017). Sin embargo, es importante realizar una evaluación nacional para tener la evidencia necesaria en caso de que se requiera ampliar la suplementación con yodo durante la gestación y lactancia y asegurar que la yodación de la sal sea adecuada para cubrir los requerimientos de la población en general sin causar efectos adversos a la salud.

Una región yodo suficiente en China llevo a cabo el reajuste del contenido de yodo en sal, de  $35 \pm 15$  a  $30 \pm 9$  ppm, con el fin de disminuir el aporte de yodo en la población escolar, y a 2 años del reajuste los datos indican un adecuado estado nutricional en gestantes, lactantes, infantes y escolares con medianas de yoduria de  $202.5 \mu\text{g/L}$ ,  $174.8 \mu\text{g/L}$ ,  $217.9 \mu\text{g/L}$  y  $204.8 \mu\text{g/L}$  (Yang *et al.*, 2016). Es importante mencionar que la reducción del contenido de yodo en sal fue gradual, de 28.6 ppm en 2011 a 26.8 ppm en 2014, y también que en la población de China la sal no es la única fuente de yodo (Yang *et al.*, 2016).

Finalmente, las correlaciones entre contenido de yodo en leche y yodurias de las madres y sus H<6M fueron estadísticamente significativas (**Figura 15**). Estos datos sugieren fuertemente que el consumo de yodo del H<6M depende del contenido de yodo en la leche y este a su vez depende del estado de suficiencia de yodo de la madre.



**Figura 15.** Correlaciones de: a) la concentración de yodo en leche materna y yoduria de las mujeres lactantes (n= 24); b) concentración de yodo en leche materna y yoduria de los H<6m (n= 21); y c) Yoduria de las mujeres lactantes y sus H<6m.

## VIII. CONCLUSIONES

La población gestante-lactante, sus H<6m y los escolares de la comunidad de San Ildefonso no presentaron DY a nivel poblacional a pesar del alto porcentaje de mujeres con un estado nutricional inadecuado y un consumo de yodo menor de recomendado.

Sin embargo, tanto las deficiencias como los excesos de yodo son un riesgo para la salud, por lo que es importante mantener una vigilancia periódica sobre el estado nutricional del yodo para evitar el resurgimiento de los DDY o la aparición de patologías tiroideas por exceso de yodo.

Adicionalmente a las acciones nacionales para mantener una adecuada suficiencia de yodo a nivel nacional, es importante concientizar y educar a la población sobre la importancia de mantener un consumo adecuado de yodo, sus fuentes alimenticias, sus beneficios a la salud y las consecuencias por excesos o deficiencias, sobre todo en poblaciones vulnerables y con niveles socioeconómicos bajos por el riesgo adicional que este supone.

Se necesita mayor evidencia en México para conocer la suficiencia de yodo de toda la población vulnerable.

## IX. LITERATURA CITADA

- Abu-Saad K y Fraser D. 2010. Maternal nutrition and birth outcomes. *Epidemiol Rev.* 32:5-25.
- Alexander EK, Pearce EN, Brent GA, Brown RS, Chen H, Dosiou C, Grobman WA, Laurberg P, Lazarus JH, Mandel SJ, Peeters RP y Sullivan S. 2017. Guidelines of the American Thyroid Association for the diagnosis and management of thyroid disease during pregnancy and the postpartum. *Thyroid.* 27: 315-389.
- Allen LH. 2003. Embarazo y lactancia. En: Bowman BA, Russell RM (Eds). *Conocimientos actuales sobre nutrición.* 8va ed. OPS e ILSI Press: EUA.
- Andersson M, Karumbunathan V y Zimmermann MB. 2012. Global iodine status in 2011 and trends over the past decade. *J Nutr.* 142: 744-750.
- American Thyroid Association. 2014. Deficiencia de yodo. Disponible en: ([http://www.thyroid.org/wp-content/uploads/patients/brochures/espanol/deficiencia\\_de\\_yodo.pdf](http://www.thyroid.org/wp-content/uploads/patients/brochures/espanol/deficiencia_de_yodo.pdf)).
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis of the AOAC.* 15ta ed. Association of official analytical chemists: USA.
- Ategbro EA, Sankar R, Schultink W, van der Haar F y Pandav CS. 2008. An assessment of progress toward universal salt iodization in Rajasthan, India, using iodine nutrition indicators in school-aged children and pregnant women from the same households. *Asia Pac J Clin Nutr.* 17:56-62.
- Bath SC, Steer CD, Golding J, Emmett P y Rayman MP. 2013. Effect of inadequate iodine status in UK pregnant women on cognitive outcomes in their children: results from the Avon Longitudinal Study of Parents and Children (ALSPAC). *Lancet.* 382: 331-337.
- Berbel P, Mestre JL, Santamaría A, Palazón I, Franco A, Graells M, González-Torga A y de Escobar GM. 2009. Delayed neurobehavioral development in

- children born to pregnant women with mild hypothyroxinemia during the first month of gestation: the importance of early iodine supplementation. *Thyroid*. 19: 511-519.
- Berbel P, Obregón MJ, Bernal J, Escobar del Rey F y Morreale de Escobar G. 2007. Iodine supplementation during pregnancy: a public health challenge. *Trends Endocrinol Metab*. 18: 338-343.
- Black RE, Victora CG, Walker SP, Bhutta ZA, Christian P, de Onis M, Ezzati M, Grantham-McGregor S, Katz J, Martorell R y Uauy R. 2013. Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries. *Lancet*. 382: 427-451.
- Bhutta ZA, Das JK, Rizvi A, Gaffey MF, Walker N, Horton S, Webb P, Lartey A y Black RE. 2013. Evidence-based interventions for improvement of maternal and child nutrition: what can be done and at what cost?. *Lancet*. 382: 452-477.
- Campos R de O, Reboucas SC, Beck R, de Jesus LR, Ramos YR, Barreto Idos S, Marques TX, Cerqueira TL, Santos WA, Oliveira CA, Teixeira LS, Souza VC, Barbosa F Jr y Ramos HE. 2016. Iodine Nutritional Status in Schoolchildren from Public Schools in Brazil: A Cross-Sectional Study Exposes Association with Socioeconomic Factors and Food Insecurity. *Thyroid*. 26: 972-979.
- Castell GS, Serra-Majem L y Ribas-Barba L. 2015. ¿Qué y cuánto comemos? Método de recuerdo 24 horas. *Nutr Hosp*. 31: 46-48.
- Chance R, Baker AR, Carpenter L y Jickells TD. 2014. The distribution of iodide at the sea surface. *Env Sci Process Impact*. 16: 1841-1859
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2010. Medición de la pobreza en México 2010, a escala municipal. Disponible en: (<http://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Informacion-por-Municipio.aspx>). Último acceso: 21 sept. (2017).

- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2010. Índice de Marginación por localidad 2010. Disponible en: ([http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\\_de\\_Marginacion\\_por\\_Localidad\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010)). Último acceso: 21 sept. (2017).
- Courtois M. 1813. Decouverted une substance novella dans le verech. *Ann Chem.* 88: 310.
- Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, Pratt M, Ekelund U, Yngve A, Sallis JF y Oja P. 2003. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc.* 35:1381-95.
- Flores-Quijano ME y Arroyo P. 2015. Nutrición en el embarazo. En: Kaufer-Horwitz M, Pérez-Lizaur AB y Arroyo P (Eds). *Nutriología Médica*. 4ta ed. Editorial Médica Panamericana: México.
- Frankenfield D, Roth-Yousey L y Compher C. 2005. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc.* 105:775-789.
- Gaitán E y Cooksey RC. 1989. General concepts of environmental goitrogenesis. En: Gaitan E (Ed). *Environmental goitrogenesis*. 1ra ed. CRC Press: Florida.
- García-Solís P, García Gaytán AC, Reyes-Mendoza VA, Robles-Osorio L, Villarreal-Ríos E, Leal-García L y Hernández-Montiel HL. 2013. Iodine nutrition in elementary state schools of Queretaro, Mexico: correlations between urinary iodine concentration with global nutrition status and social gap index. *Arq Bras Endocrinol Metab.* 57: 473-82.
- García-Solís P, Solís-S JC, García-Gaytán AC, Reyes-Mendoza VA, Robles-Osorio L, Hernández-Montiel HL y Leo-Amador GE. 2011. Iodine nutrition status in pregnant women in Mexico. *Thyroid.* 21: 1367-1371.
- Gibson RS. 2005. *Principles of nutritional Assessment: Chapter 25: Assessment of iodine and selenium status*. 2da ed. Oxford: Nueva Zelanda.

- Gizak M. 2016. Global Scorecard 2016: moving toward optimal global iodine status. Human Nutrition Laboratory, IDD newsletter. ETH Zurich and the Iodine Global Network.
- Gizak M, Gorstein J y Andersson M. 2017. Epidemiology of iodine deficiency. En: Pearce EN (Ed). Iodine deficiency disorders and their elimination. 1ra ed. Springer: Boston MA.
- Glinoe D. 2001. Pregnancy and iodine. Thyroid. 11: 471-481.
- Gowachirapant S, Winichagoon P, Wyss L, Tong B, Baumgartner J, Melse-Boonstra A y Zimmermann MB. 2009. Urinary iodine concentrations indicate iodine deficiency in pregnant Thai women but iodine sufficiency in their school-aged children. J Nutr 139:1169-1172.
- Gutiérrez JP, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Villalpando-Hernández S, Franco A, Cuevas-Nasu L, Romero-Martínez M, Hernández-Ávila M. Gutiérrez JP, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Villalpando-Hernández S, Franco A, Cuevas-Nasu L, Romero-Martínez M y Hernández-Ávila M. 2012. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales. Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, México.
- Haddow JE, Palomaki GE, Allan WC, Williams JR, Knight GJ, Gagnon J, O'Heir CE, Mitchell ML, Hermos RJ, Waisbren SE, Faix JD y Klein RZ. 1999. Maternal thyroid deficiency during pregnancy and subsequent neuropsychological development of the child. N Engl J Med. 341:471-474.
- Hua-Bin L, Xiang-Rong X y Feng C. 2009. Determination of iodine in seawater: methods and applications. En: Preedy VR, Burrow GN and Watson R (Eds). Comprehensive handbook of iodine. Academic Press/Elsevier: EUA.
- Jameson JL y Weetman AP. 2012. Trastornos de la glándula tiroides. En: Longo DL, Kasper DL, Jameson J, Fauci AS, Hauser SL y Loscalzo J (Eds). Harrison: Principios de Medicina Interna, 18va ed. McGraw-Hill: EUA.

- Kasatkina EP, Samsonova LN, Ivakhnenko VN, Ibragimova GV, Ryabykh AV, Naumenko LL y Evdokimova YA. 2006. Gestational hypothyroxinemia and cognitive function in offspring. *Neurosci Behav Physiol.* 36: 619-624.
- Kirk AB, Kroll M, Dyke JV, Ohira SI, Dias RA y Dasgupta PK. 2012. Perchlorate, iodine supplements, iodized salt and breast milk iodine content. *Sci Total Environ.* 420:73-78.
- Kooistra L, Crawford S, Van Baar AL, Brouwers EP y Pop VJ. 2006. Neonatal effects of maternal hypothyroxinemia during early pregnancy. *Pediatrics.* 117: 161-167.
- Latham MC. 2002. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentación y Nutrición N° 29. Roma.
- Leung AM, Pearce EN y Braverman LE. 2011. Iodine nutrition in pregnancy and lactation. *Endocrinol Metab Clin North Am.* 40: 765-777.
- Leung AM, Braverman LE, He X, Heeren T y Pearce EN. 2012. Breastmilk iodine concentrations following acute dietary iodine intake. *Thyroid.* 22: 1176-1180.
- Martínez-Chapa A. 2012. Proyecto: Sal Yodada y Fluorurada. Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios, México.
- Martínez-Salgado H, Castañeda-Limones R, Lechuga-Martín del Campo D, Ramos-Hernández RI, Orozco-López M, Rivera-Dommarco J, Mendoza I y Magos C. 2002. Deficiencia de yodo y otros posibles bociógenos en la persistencia del bocio endémico en México. *Gac Méd Méx.* 138: 149-156.
- Méndez-Villa L, García-Solís P, Solís-S JC, García-Gutiérrez DG, Pérez-Mora VA, Robles-Osorio L y Sampson-Zaldívar E. 2016. High iodine and salt intakes and obesity do not modify the thyroid function in Mexican schoolchildren. *Biol Trace Elem Res.* 172:290-198.
- Ministerio de Ciencia e Innovación y Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (MICINN y AESAN). 2006. Base de Datos Española de Composición de Alimentos. Gobierno de España. Disponible en: (<http://www.bedca.net/bdpub/index.php>). Ultimo acceso: 21 sept. (2017).

- Morales BA y Garduño MM. 2017. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: Estado de Querétaro de Arteaga, Amealco de Bonfil. Disponible en:(<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM22queretaro/municipios/22001a.html>).\_Ultimo acceso: 21 sept. (2017).
- Morreale de Escobar G, Obregon MJ y Escobar del Rey F. 2004. Role of thyroid hormone during early brain development. *Eur J Endocrinol.* 151:U25-U37.
- Nazeri P, Mirmiran P, Shiva N, Mehrabi Y, Mojarrad M, y Azizi F. 2015. Iodine nutrition status in lactating mothers residing in countries with mandatory and voluntary iodine fortification programs: an updated systematic review. *Thyroid.* 25: 1-10.
- Nicola JP, Basquin C, Portulano C, Reyna-Neyra A, Paroder M y Carrasco N. 2009. The Na<sup>+</sup>/I<sup>-</sup> symporter mediates active iodide uptake in the intestine. *Am J Physiol Cell Physiol.* 296: 654-662.
- Organización Mundial de la Salud. 2014. Concentraciones de yodo en orina para establecer el estado nutricional de yodo en poblaciones. Sistema de Información Nutricional sobre Vitaminas y Minerales. Ginebra: Disponible en:([http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/130836/1/WHO\\_NMH\\_NHD\\_EPG\\_14.3\\_spa.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/130836/1/WHO_NMH_NHD_EPG_14.3_spa.pdf?ua=1)). Ultimo acceso: 21 sept. (2017).
- OMS. 1985. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WHO Technical report series No. 724. WHO: Ginebra, Suiza.
- Pearce EN, Andersson M y Zimmermann MB. 2013. Global iodine nutrition: where do we stand in 2013? *Thyroid.* 235: 523-528.
- Pharoah PO, Butfield IH y Hetzel BS. 1971. Neurological damage to the fetus resulting from severe iodine deficiency during pregnancy. *Lancet.* 1: 308-310.
- Pino S, Fang S-L y Braverman L. 1996. Ammonium persulfate: a safe alternative oxidizing reagent for measuring urinary iodine. *Clin Chem.* 42: 239-243.

- Pop VJ, Brouwers EP, Vader HL, Vulmsa T, van Baar AL y de Vijlder JJ. 2003. Maternal hypothyroxinemia during early pregnancy and subsequent child development: a 3-year follow-up study. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 59: 282-288.
- Portulano C, Paroder-Belenitsky M y Carrasco N. 2014. The Na<sup>+</sup>/I<sup>-</sup> Symporter (NIS): Mechanism and Medical Impact. *Endocr Rev*. 35: 106-149.
- Pretell EA, Pearce EN, Moreno SA, Dary O, Kupka R, Gizak M, Gorstein J, Grajeda R y Zimmermann MB. 2017. Elimination of iodine deficiency disorders from the Americas: a public health triumph. *Lancet Diabetes Endocrinol*. Consultado en: ([http://dx.doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30034-7](http://dx.doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30034-7)). Ultimo acceso: 21 sept. (2017).
- Pretell EA. 2013. Importancia de la nutrición de yodo en la salud: situación mundial y regional. Reunión de evaluación del sistema de monitoreo de yodación y fluoruración de la sal en México. ICCIDD: México.
- Risher JF y Keith LS. 2009. Iodine and inorganic iodides: human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 72. WHO: Ginebra, Suiza.
- Rivera J, Shamah T, Villalpando S, González de Cosío T, Hernández B y Sepúlveda J. 2001. Encuesta Nacional de Nutrición 1999. Estado Nutricio de niños y mujeres en México. Cuernavaca México: Instituto Nacional de Salud Pública.
- Suazo V, Castellón JM y López JM. 2012. Miocardiopatía tirotóxica grave. Consideraciones a propósito de un caso clínico. *Rev Chil Endocrinol. Diabetes*. 5:22-26.
- Sawin CT. 2005. The normal thyroid: History, development, anatomy. En Braverman LE, Utiger RD. *The thyroid* (Eds). 9na ed. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia.
- Secretaría de Salud. 2011. Norma Oficial Mexicana, NOM-038-SSA2-2010, Para la prevención, tratamiento y control de las enfermedades por deficiencia de yodo. *Diario Oficial de la Federación*, 21 de abril.

- Secretaría de Salud. 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SSA3-2012, Del expediente clínico. Diario Oficial de la Federación. 29 de junio.
- Secretaría de Salud. 2014. Norma Oficial Mexicana, NOM-034-SSA2-2013 Para la prevención y control de los defectos al nacimiento. Diario Oficial de la Federación. 24 de junio.
- Secretaría de Salud. 2016. Norma Oficial Mexicana, NOM-007-SSA2-2016, Para la atención de la mujer durante el embarazo, parto y puerperio y de la persona recién nacida. Criterios y procedimientos para la prestación del servicio. Diario Oficial de la Federación. 7 de abril.
- Shamah LT, Villalpando HS y Rivera JD. 2006. Manual de procedimientos para proyectos de nutrición. 1ra ed. Instituto Nacional de Salud Pública: Cuernavaca.
- Solís JC y Valverde C. 2006. Hipotiroidismo neonatal: fisiopatología, aspectos moleculares, metabólicos y clínicos. *Rev Invest Clin.* 58:318-334.
- Stanbury JB y Dunn JT. 2003. Yodo y sus trastornos por deficiencia de yodo. En: Bowman BA, Russell RM (Eds). *Conocimientos actuales sobre nutrición.* 8va ed. OPS e ILSI Press: Washington DC.
- Stilwell G, Reynolds PJ, Parameswaran V, Blizzard L, Greenaway TM y Burgess JR. 2008. The influence of gestational stage on urinary iodine excretion in pregnancy. *J Clin Endocrinol Metab.* 93:1737-1742.
- Tahirović H, Toromanović A, Balić A, Grbić S y Gnat D. 2009. Iodine nutrition status of pregnant women in an iodinesufficient area. *Food Nutr Bull.* 30:351-354.
- Tran TD, Hetzel B y Fishera J. 2016. Access to iodized salt in 11 low- and lower-middle-income countries: 2000 and 2010. *Bull World Health Organ.* 94:122-129.
- Therrell BL, Padilla CD, Loeber JG, Kneisser I, Saadallah A, Borrajo GJC y Adams J. 2015. Current status of newborn screening worldwide: 2015. *Semin Perinatol.* 39: 171-187.

- UNICEF. 1990. World Summit for Children. United Nations: New York. Disponible en: (<http://www.un.org/geninfo/bp/child.html>). Ultimo acceso: 21 sept. (2017).
- UNICEF. 2014. Household consumption of adequately iodized salt. Disponible en: ([http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Iodized-salt-consumption-SOWC-6-November-2014\\_67.xlsx](http://data.unicef.org/wp-content/uploads/2015/12/Iodized-salt-consumption-SOWC-6-November-2014_67.xlsx)). Ultimo acceso: 21 sept. (2017).
- Valverde C. 2011. La química de la vida: Yodo y hormonas tiroideas en la evolución de la humanidad. 1ra ed. UNAM: México.
- Valverde C y Ortiz GA. 2014. Un torbellino de miradas a la glándula tiroidea: su historia a través del arte, el mito y la ciencia. 1ra ed. UNAM: México.
- Vela-Amieva M, Hernández-Osorio C, Gamboa-Cardiel S, González-Contreras C, Pérez-Andrade ME, Ortiz-Cortés J y Aguirre-Vélez BE. 2003. Hipertirotropinemia en recién nacidos mexicanos. Salud Pub Méx. 45: 269-275.
- Vela Amieva M. 2012. Hipotiroidismo congénito en México. Sociedad Mexicana de Errores Innatos del Metabolismo y Tamiz Neonatal A.C. e Instituto Nacional de Pediatría. México.
- Vermiglio F, Lo Presti P, Moleti M, Sidoti M, Tortorella G, Scaffidi G, Castagna MG, Mattina F, Violi MA, Crisa A, Artemisia A y Trimarchi F. 2004. Attention deficit and hyperactivity disorders on the offspring of mothers exposed to mild-moderate iodine deficiency: a possible novel iodine deficiency disorder in developed countries. J Clin Endocrinol Metab. 89:6054-6060.
- Vidal ZE, Rufino SC, Tlaxcalteco EH, Trejo CH, Campos RM, Meza MN, Rodríguez RC y Arroyo-Helguera O. 2014. Oxidative stress increased in pregnant women with iodine deficiency. Biol Trace Elem Res. 157: 211-217.
- WHO, UNICEF, ICCIDD. 2007. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. 3ra ed. WHO: Ginebra, Suiza.

Yang J, Lin Zhu L, Li X, Heming Zheng Z, Wang Z, Liu Y y Hao Z. 2016. Iodine status of vulnerable populations in Henan province of China 2013-2014 after the implementation of the new iodized salt standard. *Biol Trace Elem Res.* 173:7-13

Zimmermann MB. 2009. Iodine deficiency. *Endoc Rev.* 30: 376-408.

## X. ANEXOS

### Anexo 1. Historia clínica



#### Historia Clínica

Iniciales			ID		



#### Datos generales de la madre

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Fecha de nacimiento: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Edad: \_\_\_ años Sexo: 1) Femenino 2) Masculino

Lugar de nacimiento: \_\_\_\_\_ Estado civil: 1) Casada 2) Soltera 3) Unión libre 4) Separada/Divorciada

Domicilio: \_\_\_\_\_

#### Antecedentes heredofamiliares

Patología	Diabetes	Hipertensión	Cáncer	Dislipidemias	Obesidad mórbida	Otros
0) Si						
1) no						

#### Antecedentes patológicos personales

Patología	0) si	1) no
Diabetes gestacional		
Hipotiroidismo		
Obesidad mórbida		
Rubéola		
Preclamsia		
Hipertensión arterial		
Toxoplasmosis		

Alergias		
Cáncer		
Cirugías		
Enfermedad de transmisión sexual		
Varicela		
Estreptococo grupo B		
Enfermedad cardiaca		

o renal		
Depresión con medicación		
Consumo de alcohol, cigarro, drogas.		
Reemplazo hormonal		

En los últimos tres meses ha tomado algún medicamento o suplemento: 0) si 1) no

Cual : \_\_\_\_\_

Está llevando algún tipo de dieta especial: 0) si 1) no Quien la recomendó: \_\_\_\_\_

Iniciales			ID		

**Datos Gineco-obstétricos**

Semanas de gestación: \_\_\_\_\_ Fecha de ultima menstruación: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
 Edad del primer embarazo: \_\_\_\_ años No. de embarazos: \_\_\_\_\_ No. de abortos: \_\_\_\_\_  
 Fecha de parto del embarazo anterior: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Periodo intergenesico: \_\_\_\_\_  
 Tipo de parto: 1) Distócico (fórceps o maniobras) 2) Eutócico 3) Cesárea  
 Lugar donde nació su bebe: 1) hospital público 2) hospital privado 3) Hogar propio 4) otro  
 A los cuantos meses de embarazo fue la primera revisión: \_\_\_\_\_ A donde acudió: \_\_\_\_\_  
 Quien la atendió: 1) Medico o ginecólogo 2) promotor de salud o partera 5) ninguno Cuantas consultas tuvo: \_\_\_\_\_

**Antropometría de la madre**

Peso antes del embarazo: \_\_\_\_\_ kg Peso después del embarazo: \_\_\_\_\_ kg  
 IMC antes del embarazo: \_\_\_\_\_ kg /m<sup>2</sup> IMC después del embarazo: \_\_\_\_\_ kg /m<sup>2</sup>  
 Estatura: \_\_\_\_\_ cm Peso actual: \_\_\_\_\_ kg % grasa: \_\_\_\_\_ % % agua corporal: \_\_\_\_\_ %

**Datos del bebe:**

Nombre: \_\_\_\_\_ Sexo: 1) Femenino 2) Masculino  
 Fecha de nacimiento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_ semanas Lugar de nacimiento: \_\_\_\_\_  
 Peso al nacer: \_\_\_\_\_ gr Longitud al nacer: \_\_\_\_\_ cm  
 Alimentación al nacer: 1) formula infantil 2) leche materna 3) formula + leche materna 4) madre sustituta o nodriza  
 En los últimos días se ha enfermado: 0) si 1) no Toma algún medicamento: 0) si 1) no  
 Cual: \_\_\_\_\_  
 Ha estado hospitalizado: 0) si 1) no Porque: \_\_\_\_\_  
 Alimentación actual: 1) Lactancia materna exclusiva (solamente leche materna, no jugos, no te, no fórmula)  
 2) Lactancia predominante (leche materna y también pequeñas cantidades de agua o té)  
 3) Alimentación mixta o parcial (Se amamanta algunas veces y en otras se da fórmula)  
 Leche materna: Cuantas veces al día alimenta al bebe: \_\_\_\_\_ Por cuanto tiempo: \_\_\_\_\_  
 Formula infantil: cuantas veces al día alimenta al bebe: \_\_\_\_\_ Cantidad: \_\_\_\_\_ oz

## Anexo 2. Estudio socioeconómico de Graffar modificado por Méndez-Castellano



### Estudio Socioeconómico

--	--	--	--	--	--

Iniciales

ID



Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

#### 1. Profesión del jefe de familia:

- 1) Profesión universitaria, financista, comerciante de alta productividad u oficial de fuerzas armadas.
- 2) Profesión técnica superior universitaria, medianos comerciantes o productores.
- 3) Empleados sin profesión universitaria, técnica media, pequeños comerciantes o productores.
- 4) Obreros especializados y parte de los trabajos del sector informal (primaria completa).
- 5) Obreros no especializados y otra parte del sector informal de la economía (sin primaria completa).

#### 2. Nivel de instrucción de la madre:

- 1) Enseñanza universitaria o su equivalente.
- 2) Técnica superior u secundaria terminada.
- 3) Secundaria incompleta o técnica inferior.
- 4) Analfabeta.

#### 3. Principal fuente de ingreso de la familia:

- 1) Fortuna heredada.
- 2) Ganancias o beneficios, honorarios profesionales.
- 3) Sueldo mensual.
- 4) Salario semanal, por día, entrada o destajo.
- 5) Donaciones de origen público o privado.

#### 4. Condiciones de alojamiento:

- 1) Vivienda con óptimas condiciones sanitarias en ambientes de gran lujo.
- 2) Vivienda con óptimas condiciones sanitarias en ambientes con lujo sin exceso y suficientes espacios.
- 3) Vivienda con óptimas condiciones sanitarias en espacios reducidos o no, pero siempre menores que en las viviendas 1 y 2.
- 4) Vivienda con ambientes espaciosos o reducidos y/o con deficiencias en algunas condiciones sanitarias.
- 5) Vivienda con condiciones sanitarias marcadamente inadecuadas.

--	--	--

aplicó

**Anexo 3.** Cuestionario de actividad física IPAQ versión corta.



**IPAQ**

Iniciales			ID		



Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

1. Durante los **últimos 7 días** ¿Cuántos días realizó usted actividades físicas **vigorosas** como levantar objetos pesados, excavar, aeróbicos o pedalear rápido en bicicleta? \_\_\_\_\_ **días por semana**  
 Ninguna actividad física vigorosa → **pase a la pregunta 3**
  
2. ¿Cuánto tiempo en total usualmente le tomó realizar actividades físicas **vigorosas** en uno de esos días que las realizó? \_\_\_\_\_ **horas por día** \_\_\_\_\_ **minutos por día**  
 No sabe/ No está seguro(a)
  
3. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuántos días hizo usted actividades físicas **moderadas** tal como cargar objetos livianos, pedalear en bicicleta a paso regular, o jugar dobles de tenis? No incluya caminatas. \_\_\_\_\_ **días por semana**  
 Ninguna actividad física moderada → **pase a la pregunta 5**
  
4. Usualmente ¿Cuánto tiempo dedica usted en uno de esos días haciendo actividades físicas **moderadas**?  
 \_\_\_\_\_ **horas por día** \_\_\_\_\_ **minutos por día**  
 No sabe/ No está seguro(a)
  
5. Durante los **últimos 7 días** ¿Cuántos días caminó usted por al menos 10 minutos continuos? \_\_\_\_\_ **días por semana**  
 Ninguna actividad física moderada → **pase a la pregunta 7**
  
6. Usualmente ¿Cuánto tiempo gastó usted en uno de esos días **caminando**?  
 \_\_\_\_\_ **horas por día** \_\_\_\_\_ **minutos por día**  
 No sabe/ No está seguro(a)
  
7. Durante los **últimos 7 días** ¿Cuánto tiempo permaneció **sentado (a)** en un día en la semana? Incluya el tiempo sentado(a) en el trabajo, la casa, estudiando, y en su tiempo libre. Esto puede incluir tiempo sentado(a) en un escritorio, visitando amigos(as), leyendo o permanecer sentado(a) o acostado(a) mirando televisión.  
 \_\_\_\_\_ **horas por día** \_\_\_\_\_ **minutos por día**  
 No sabe/ No está seguro(a)

aplicó		



**Anexo 5.** Diagrama del marco teórico de las variables.

