

**Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Nutrición**

**“Evaluación de la suficiencia de yodo en niños de 6 a 12 años de 4
municipios de la Sierra Gorda Queretana y su relación con variables físicas e
intelectuales”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Licenciado en Nutrición

Presenta:

Ana Cristina García Gaytán

Dirigida por:

Dr. en C. Pablo García Solís

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Licenciatura en Nutrición

“Evaluación de la suficiencia de yodo en niños de 6 a 12 años de 4 municipios de la Sierra Gorda Queretana y su relación con variables físicas e intelectuales”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Licenciado en Nutrición

Presenta:

Ana Cristina García Gaytán

Dirigida por:

Dr.en C. Pablo García Solís

SINODALES

Dr. Pablo García Solís

Presidente Firma

Dra. Olga Patricia García Obregón

Secretario Firma

Dra. Ma. Ludivina Robles Osorio

Vocal Firma

Dr Juan Carlos Solís Sáinz

Suplente Firma

M. en C. Beatriz Rangel Peniche

Suplente Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Mayo 2011
México

Título

“Evaluación de la suficiencia de yodo en niños de 6 a 12 años de la Sierra Gorda Queretana y su relación con variables físicas e intelectuales”

Autora

P.L.N. Ana Cristina García Gaytán

Director: Dr. Pablo García Solís

Resumen

Introducción: La carencia nutricional del yodo origina bocio, cretinismo y grados variables de retraso mental que afectan las habilidades cognitivas. La Sierra Gorda de Querétaro (SGQ) por sus características sociales y geográficas es una zona cuya población es vulnerable de padecer deficiencia de yodo. **Objetivo:** Evaluar el estado nutricional de yodo en escolares que asisten a escuelas primarias públicas habitantes de Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles y San Joaquín de la SGQ. **Materiales y Métodos:** En cada municipio se estudiaron 5 escuelas elegidas al azar (30 niños por escuela). Se determinó la suficiencia de yodo mediante la mediana de yoduria, el estado nutricional general con el índice de masa corporal (IMC) y la madurez visomotora con el test de Bender. **Resultados:** Se estudiaron 606 escolares con un promedio de edad de 9.4 ± 2.0 años y una relación femenino/masculino de 1.06. La mediana de la yoduria de las 20 escuelas fue de 271 $\mu\text{g/L}$. De las escuelas estudiadas el consumo de yodo fue insuficiente en un 10%, adecuado en un 10%, por arriba de los requerimientos en un 50% y en un 30% fue excesivo. La prevalencia de sobrepeso y obesidad fue del 20% y de bajo peso del 3%. Se encontró una diferencia promedio de -0.41 años de la madurez visomotora con respecto a la edad cronológica. La yoduria correlacionó significativamente de forma positiva con el IMC y el estado nutricional. La madurez visomotora no correlacionó con la yoduria y el estado nutricional general. **Conclusiones:** El consumo global de yodo de los municipios estudiados está por arriba de los requerimientos, sin embargo en algunos lugares hay un consumo insuficiente de yodo mientras que en otros es excesivo, ambas situaciones están relacionadas con el estado nutricional general de la población.

Palabras claves: Deficiencia de yodo, yoduria, escolares, Sierra Gorda, Querétaro.

Summary

Introduction: The nutritional deficiency of iodine causes goiter, cretinism, and varying degrees of mental retardation that affect learning abilities. The population of the Sierra Gorda de Querétaro (SGQ) is vulnerable to suffer iodine deficiency because of the social and geographical features. **Objective:** To evaluate the nutritional status of iodine in school children attending public primary schools of 4 municipalities of the SGQ (Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles and San Joaquin). **Materials and Methods:** In each municipality 5 schools were randomly selected (30 children per school). We evaluated the iodine nutritional status using the median urinary iodine. We evaluated the global nutritional status with body mass index (BMI) and visual-motor maturity with Bender test. **Results:** We studied 606 schoolchildren with a mean age of 9.4 ± 2.0 years. The median urinary iodine of 20 schools was $271 \mu\text{g/L}$ ($3\text{-}1403 \mu\text{g/L}$). The iodine intake of the studied schools was inadequate in 10%, adequate by 10%, above requirements by 50% and 30% was excessive. The prevalence of overweight and obesity was 20% and 3% was underweight. We found an average difference of -0.41 visual-motor middle age with respect to chronological age. The iodine was significantly correlated positively with BMI and nutritional status. Visual-motor maturity was not correlated with the urinary iodine and the general nutritional status. **Conclusions:** The overall consumption of iodine in the municipalities studied is above requirements, but in of them there is an inadequate intake of iodine, while in others it is excessive, both situations appear to be related to the population general nutrition status.

Key Words: Iodine deficiency, urinary iodine concentration, school-age children, Sierra Gorda, Queretaro.

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Endocrinología y Nutrición del Departamento de Investigación Biomédica de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro

Los recursos materiales y económicos necesarios para la investigación fueron financiados por el Fondo Mixto del Gobierno del Estado de Querétaro-CONACYT (FOMIX) con número clave QRO-2009-C01-117897, este mismo fondo apoyó al autor con una beca para tesista de Licenciatura.

Dedicatorias

A Dios, por ponerme en este sitio y guiar mis pasos a cada momento.

A mis padres Ana Luisa Gaytán y Miguel Angel García con todo mi amor por el apoyo incondicional que me han brindado, el cual me ha permitido llegar hasta donde estoy.

Con todo mi cariño para mis hermanos Lorena y Alejandro por su apoyo y entusiasmo que me motiva a hacer mejor las cosas y para mis amigas Alejandra, Damaris y Angélica cuya amistad me motiva día a día.

Agradecimientos

Agradezco a mi asesor de tesis, el doctor Pablo García Solís por haber confiado en mí y haberme apoyado y enseñado todo lo necesario para llevar a fin este proyecto.

A Vanessa Reyes Mendoza quien me acompañó en las cuestiones técnicas de recolección de datos y procesamiento de muestras.

A los doctores Juan Carlos Solís y Ma. Ludivina Robles quienes me asesoraron en las cuestiones teóricas de lo que yo desconocía.

Al señor Gustavo quien me facilitó el trabajo en el laboratorio.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LA LITERATURA	
1.	Papel del yodo en los procesos metabólicos.	3
1.1.	Fuentes dietéticas de yodo.	3
1.2.	Necesidades de yodo en el organismo.	3
1.3.	Metabolismo del yodo.	4
1.4.	Tiroides.	4
1.5.	Síntesis de hormonas tiroideas.	5
1.6.	Secreción de hormonas tiroideas.	6
1.7.	Regulación de la síntesis secreción de hormonas tiroideas.	7
1.8.	Transporte y distribución de las hormonas tiroideas.	8
1.9.	Metabolismo de las hormonas tiroideas.	9
1.10.	Funciones de las hormonas tiroideas.	9
2.	Enfermedades por deficiencia de yodo (EDY).	11
2.1.	Poblaciones vulnerables a la deficiencia de yodo.	13
2.2.	Estrategias para la erradicación las EDY.	13
2.2.1.	Indicadores para evaluar la suficiencia de yodo.	14
2.3	Situación actual de las EDY.	16
3.	Generalidades de la Sierra Gorda Queretana.	18
3.1	Descripción del territorio geográfico de los municipios estudiados.	19
3.1.1.	Jalpan de Serra.	19
3.1.2.	Landa de Matamoros.	19
3.1.3.	Pinal de Amoles.	20
3.1.4.	San Joaquín.	20
3.2.	Actividades económicas de la Sierra Gorda Queretana.	21
3.3	La Sierra Gorda Queretana, una región vulnerable a la deficiencia de yodo.	22
III.	OBJETIVOS	
	Objetivo general.	24
	Objetivos específicos.	24
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	
	Diseño y sujetos de estudio.	25
1.	Registro de datos personales, variables antropométricas y sociodemográficas.	26
2.	Determinación de yodo en orina.	26

3.	Detección de bocio.	27
4.	Determinación cualitativa de yodo en sal.	28
5.	Determinación cuantitativa de yodo en sal	29
6.	Evaluación del nivel de maduración visomotora.	29
7.	Diagnóstico nutricional.	30
8.	Consideraciones éticas.	30
9.	Análisis estadístico de los datos.	30
V.	RESULTADOS	
	Datos generales de la población.	31
1.	Excreción urinaria de yodo.	31
2.	Prevalencia de bocio.	33
3.	Contenido de yodo en sal de mesa.	34
4.	Madurez visomotora.	35
5.	Diagnóstico nutricional.	36
6.	Correlación entre yoduria y estado nutricional global.	37
7.	Correlación entre madurez visomotora y yoduria.	38
8.	Correlación entre madurez visomotora y estado nutricional general.	40
VI.	DISCUSIÓN	41
VII.	CONCLUSIONES	43
VIII.	LITERATURA CITADA	44

ÍNDICE DE TABLAS.

1. Ingesta diaria recomendada de yodo por grupo de edad.	4
2. Enfermedades por deficiencia de yodo por edad.	12
3. Criterios para la evaluación del estado nutricional de yodo.	16
4. Estudios más recientes en México donde se ha evaluado el estado nutricional de yodo a través de la mediana de yoduria.	17
5. Estudios más recientes en México donde se ha evaluado el estado nutricional de yodo a través de la prevalencia de bocio.	18
6. Características demográficas y económicas de los municipios de la Sierra Gorda Queretana.	23
7. Prioridad de atención según prevalencia de talla baja.	24
8. Criterios de inclusión y eliminación.	27
9. Límite superior del volumen normal de la tiroides evaluada por ultrasonido.	28
10. Descripción general de la población estudiada.	31
11. Excreción urinaria de yodo por municipio.	32
12. Excreción urinaria de yodo por localidad.	33
13. Prevalencia de bocio por municipio.	34
14. Porcentaje de muestras de sal negativas a yodatos por municipio.	34
15. Contenido de yodo en la sal.	35
16. Diferencia entre madurez visomotora y edad cronológica por municipio.	36
17. Prevalencia de talla baja por localidad.	37
18. Correlación entre estado nutricional y yoduria por municipio.	39
19. Correlación entre la yoduria y la madurez visomotora por municipio.	39
20. Correlación entre madurez visomotora y estado nutricional.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Hormonas tiroideas y compuestos relacionados.	6
2. Regulación de la secreción tiroidea.	8
3. Ubicación de Jalpan de Serra en el estado de Querétaro.	19
4. Ubicación de Landa de Matamoros en el estado de Querétaro.	20
5. Ubicación de Pinal de Amoles en el estado de Querétaro.	20
6. Ubicación de San Joaquín en el estado de Querétaro.	21
7. Estado nutricional de los niños escolares de la SGQ.	36
8. Distribución de IMC por municipio.	37
9. Correlación entre las medianas de yoduria e IMC.	38

II. INTRODUCCIÓN

El yodo es un elemento indispensable de las hormonas tiroideas (HT) las cuales participan en el desarrollo, el crecimiento y el metabolismo de los mamíferos (Pocock, 2002). La deficiencia de yodo es la primera causa de retraso mental prevenible en el mundo (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007). Además del retraso mental, la deficiencia en la ingestión de este es causa de trastornos como el bocio y el hipotiroidismo, incluso una deficiencia moderada trae consigo puntajes por debajo del promedio en el coeficiente intelectual y un pobre desempeño laboral; estos trastornos relacionados con la deficiencia de yodo han sido denominados Enfermedades por Deficiencia de Yodo (EDY) (Santiago-Fernández *et al.*, 2004; Hetzel, 2004; Pineda-Lucatero *et al.*, 2008).

Para erradicar las EDY, organismos como la Organización Mundial de la Salud (WHO), el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y el Consejo Internacional para el Control de Enfermedades por Deficiencia de Yodo (ICCIDD) recomiendan a los países llevar a cabo dos estrategias: la yodación universal de la sal y la vigilancia epidemiológica estricta del estado nutricional del yodo. La yodación de la sal debe hacerse de manera permanente y la vigilancia epidemiológica debe llevarse a cabo con una periodicidad de 3 años, principalmente a través de la mediana de yoduria poblacional (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007).

En México, la Norma Oficial para la prevención, el tratamiento y el control de la deficiencia de yodo (NOM-038-SSA2-2002) estipula que toda sal para consumo humano y pecuario debe estar yodada con 30 ± 10 ppm de ión yodo. Además dicha norma señala que más del 90% de los hogares mexicanos debe tener acceso a sal adecuadamente yodada, que la mediana de yoduria poblacional en niños escolares no debe ser menor a $100 \mu\text{g/L}$ y que la prevalencia de bocio no debe rebasar el 5% en escolares (Secretaría de Salud, 2003).

En cuanto a la yodación de la sal se estima que solo el 75% de población consume sal de acuerdo a la norma (Pretell *et al.*, 2004). Respecto a la mediana de yoduria, la Encuesta Nacional de Nutrición llevada a cabo en el año de 1999 (ENN'99) por el Instituto Nacional de Salud Pública encontró, a nivel nacional, una mediana de yoduria de $235 \mu\text{g/L}$ (Benoist *et al.*, 2004; Rivera *et al.*, 2002), lo cual, según los criterios establecidos por WHO-UNICEF-ICCIDD (2007) clasifica a México como un país con un consumo de yodo arriba

de lo recomendado; sin embargo, estudios realizados en regiones pequeñas encontraron que aún existen sitios en donde la ingestión de yodo es deficiente como es el caso de Huejutla, Hidalgo, donde se encontró una mediana de yoduria de 93 $\mu\text{g/L}$ (Martínez-Salgado, 2002). De la prevalencia de bocio no se cuenta con datos a nivel nacional en población escolares y lo que se sabe es que actualmente hay pequeñas regiones en el país en las que existe o existió la deficiencia de yodo, en dichos estudios las prevalencias de bocio encontradas son superiores a lo esperado con cifras que llegan al 21% de la población (n=303) en lugares como Cuauhtémoc, Colima (Pineda-Lucatero *et al.*, 2008).

Históricamente se sabe que la altitud, la pobreza y la desnutrición se relacionan positivamente con la deficiencia de yodo (Dunn, 1996). Los suelos de regiones elevadas son escasos en yodo debido a la acción de las lluvias, la erosión y el viento. La pobreza trae consigo escasez de alimentos, sobre todo en lugares lejanos donde se dificulta el transporte de éstos. El yodo puede estar escaso en el organismo de un individuo desnutrido ya que es común encontrar deficiencias de otros micronutrientes en una persona con mala nutrición. Los municipios elegidos para el estudio tienen las características de: 1) Pertenecer a la región de la Sierra Gorda Queretana; 2) Tener datos de alta prevalencia de pobreza alimentaria, y 3) Tener datos sobresalientes de porcentajes de niños con talla baja según el Censo Nacional de Talla 2004.

Lo anterior motivó el desarrollo de este trabajo de investigación acerca de la suficiencia en el consumo de yodo de niños escolares de la Sierra Gorda Queretana. Este estudio es parte del proyecto “Estudio de la suficiencia nutricional de yodo en niños escolares que habitan en los municipios considerados más vulnerables a la deficiencia en la ingestión de yodo en el Estado de Querétaro” que se está llevando a cabo en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro.

III. REVISIÓN DE LA LITERATURA

1. Papel del yodo en los procesos metabólicos

El yodo es el halógeno menos abundante en la naturaleza, fue descubierto por Courtois en 1811 y su nombre proviene del griego “ιωδιος” que significa “violeta” debido a la coloración de los vapores que desprende este halógeno al calentarse (Carrasco, 2005).

1.1. Fuentes dietéticas de yodo

El contenido de yodo de un alimento depende de la cantidad del mismo presente en el suelo donde crece. Actualmente los suelos del planeta son muy pobres en yodo (UNICEF, 2004). El yodo presente en las partes más altas de la corteza terrestre es arrastrado por el agua y llevado al mar, por lo tanto, el agua de mar es rica en yodo (WHO-UNICEF-ICCID, 2007). Las algas marinas tienen una capacidad biológica inherente de concentrar yodo y por lo tanto los peces de arrecife que se alimentan de estas algas son también ricos en yodo. El huevo, los mariscos, la leche y la carne también contienen yodo, aunque su contenido varía según el consumo del mismo nutrimento que tengan los animales (FAO-WHO, 2004). Desde que se reglamentó la yodación de la sal, ésta es la principal fuente. El yodo entra en la cadena alimentaria también a través del empleo de yodóforos que se utilizan como desinfectantes en el procesamiento de productos lácteos, agentes colorantes y acondicionadores de masa (Anderson, 2001).

1.2. Necesidades de yodo en el organismo

En la Tabla 1 se presentan las ingestiones diarias recomendadas de yodo, cantidades suficientes para prevenir las consecuencias de la deficiencia de yodo.

Tabla 1. Ingestión diaria recomendada de yodo por grupo de edad.

Edad	Ingestión diaria recomendada
Niños de 0 a 59 meses	90 µg
Niños de 6 a 12 años	120 µg
Adolescentes y adultos	150 µg
Mujeres embarazadas y lactantes	250 µg

Fuente: WHO, 1996; WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007

1.3. Metabolismo del yodo

El yodo llega al organismo a través del consumo de alimentos y agua que lo contienen, el yodo dietario es convertido en ión yoduro antes de ser absorbido. El ión yoduro es 100% biodisponible y absorbido totalmente de los alimentos y del agua (FAO-WHO, 2004). El yodo entra en la circulación como yoduro inorgánico, viaja a través de la circulación de dos formas: libre y unido a proteínas (Anderson, 2001) y es captado de la circulación por la tiroides y el riñón (FAO-WHO, 2004). Una parte del yodo ingerido es usado por la glándula tiroides para la síntesis de HT, una menor parte se almacena en sitios como las glándulas salivales, las glándulas mamarias, el plexo coroideo y la mucosa gástrica (Food and Nutrition Board, 2001) y el exceso de este nutrimento se excreta principalmente por la orina y en menor medida por las heces (Anderson, 2001). El simportador de sodio/yodo (NIS) en la membrana basal de la tiroides es el responsable de la concentración de yodo, de forma que se asegura que la glándula tiroidea reciba yodo de manera suficiente y durante la deficiencia en la ingestión la glándula concentre una mayor parte del yodo circulante (Wayne *et al.*, 1964)

1.4. La tiroides

La tiroides es una glándula endocrina que se encuentra inmediatamente por detrás de la laringe. Consiste en dos lóbulos ubicados a cada lado de la tráquea y que se unen en la parte anterior por una masa medial de tejido tiroideo denominado “istmo” (Fox, 2008). Los lóbulos de la tiroides no siempre son simétricos, regularmente el lóbulo derecho es mayor

al izquierdo y varían en su forma (Guyton, 1998). En los humanos esta glándula endocrina es la más grande (pesando alrededor de 10 a 20 gramos en adultos) y se ubica a la mitad de cuello, sobre el segundo o tercer anillo cartilaginoso de la tráquea en humanos (Santisteban, 2005)

A nivel microscópico la tiroides está compuesta por numerosas estructuras esféricas y huecas de diversos tamaños llamadas folículos tiroideos, estos están revestidos por un epitelio cuboideo constituido por células foliculares que sintetizan tiroxina (T₄) y triyodotironina (T₃), así como otros compuestos yodados; el interior de los folículos contiene coloide, un líquido rico en tiroglobulina (Tg) (Fox, 2008).

1.5. Síntesis de las hormonas tiroideas

La síntesis de HT se lleva a cabo en los folículos tiroideos, donde el yodo juega un papel indispensable como componente de éstas. La síntesis comprende una serie de pasos muy bien regulados (Fox, 2008).

El primer paso para la síntesis de T₃ y T₄ es el transporte del yoduro al interior de los tirocitos, este transporte se lleva a cabo de manera activa a través del NIS ubicada en la membrana basolateral del folículo tiroideo. El ion yodo pasa a través del citoplasma celular hasta la membrana apical de la célula en donde la pendrina es responsable de su paso hacia la luz folicular, ahí es donde el yoduro es oxidado por la acción del peróxido de hidrógeno el cual es generado por un sistema enzimático en donde participa el NADPH y una enzima oxidasa llamada THOX2 (Gannong, 2004).

Para la síntesis se requiere la presencia de la Tg que sirve como base para la T₄ y T₃ (Figura 1). La Tg es una glucoproteína que contiene 123 residuos de tirosina pero sólo 4 a 8 de ellos se incorporan en las HT. Para la síntesis, primero la tiroperoxidasa (TPO) cataliza la unión del yodo a determinados residuos tirosilos, de aquí resulta la formación de monoyodotirosina (MIT) y diyodotirosina (DIT); la siguiente reacción se llama “acoplamiento” porque consiste en la unión de dos yodotirosinas para formar T₃ y/o T₄ (Guyton, 1998).

Una vez formadas las HT permanecen unidas a la Tg y se almacenan en el coloide para su uso posterior. La cantidad almacenada es suficiente para suministrar al cuerpo los

requerimientos normales de HT durante dos o tres meses, es por esto que al suspenderse la síntesis de HT tarda algunos meses en presentarse la sintomatología de la deficiencia (Guyton, 1998).

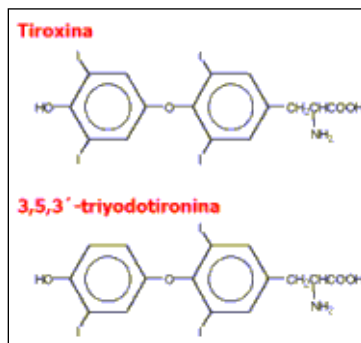


Figura 1. Hormonas tiroideas. Se observan las estructuras químicas de la tiroxina (T4), que contiene 4 átomos de yodo y de la triyodotironina (T3) que contiene 3 átomos de yodo y que es la hormona más activa a nivel celular. Tomada de: <http://javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/neurobioquimica/TRH.htm>. Fecha de consulta: 11 de enero de 2011.

1.6. Secreción de las hormonas tiroideas

Cuando se incrementa la demanda de HT en el organismo, la glándula tiroides es estimulada por la hormona estimulante de la tiroides (TSH) originando un proceso de pinocitosis del coloide al interior del tirocito y una vez dentro del tirocito la Tg es hidrolizada por acción de los lisosomas. Como consecuencia se liberan HT, yodotirosinas, aminoácidos y azúcares. El proceso de digestión es necesario para que la T3 y T4 sean secretadas hacia el torrente sanguíneo de los capilares y los residuos de MIT y DIT sean desyodados gracias a la deshalogenasa de yodotirosinas y de esta forma el yodo sea reciclado para la síntesis hormonal (Solís-S *et al.*, 2004).

1.7. Regulación de la síntesis y secreción de las hormonas tiroideas

La secreción de las HT depende principalmente de las variaciones en la concentración circulante de la TSH hipofisaria. La secreción de TSH aumenta por efecto de la hormona

liberadora de tirotropina (TRH) y es inhibida por la retroalimentación negativa de T4 y T3. El organismo tiene un mecanismo retroalimentación que actúa a través de hipotálamo y adenohipófisis para controlar la secreción tiroidea. La TSH es una glucoproteína que contiene 211 residuos de aminoácidos más hexosas, hexosaminas y ácido siálico. Esta hormona se secreta en la hipófisis anterior, es una hormona con una vida media de 60 minutos, la cual se degrada en los riñones y en el hígado; la secreción de esta hormona es pulsátil, siendo mayor su secreción a media noche, disminuyendo paulatinamente durante el día. El índice normal de secreción diaria es de aproximadamente 110 $\mu\text{g}/\text{día}$ (Gannong, 2004). La TSH regula la mayor parte de la síntesis y secreción de HT a través de diferentes mecanismos: incrementa la síntesis de NIS y por lo tanto se aumenta la captura de yoduro, también incrementa la liberación de HT de la Tg; incrementa el tamaño y número de los tirocitos y también aumenta el flujo sanguíneo a la glándula. El efecto global de la acción de la TSH es aumentar la síntesis y secreción de las HT. Es importante destacar que la TSH cumple una función trófica, es decir, tiene un efecto de mantenimiento tónico sobre la glándula ya que en ausencia de ella, la tiroides se atrofia (Guyton, 1998).

La secreción de TSH aumenta por efecto de la TRH sobre los núcleos paraventriculares hipotálamicos. La secreción de TSH también se ve afectada por la cantidad de HT circulante en el plasma ya que cantidades elevadas de estas hormonas bloquean el aumento de la secreción de TSH inducida por TRH, es decir, ejercen una retroalimentación negativa (Figura 2) tanto a nivel de hipotálamo como de hipófisis. También la acción de otras hormonas como los estrógenos (que aumentan la sensibilidad de las células secretoras de TSH al TRH) y los niveles elevados de glucocorticoides inhiben la secreción de TSH (Pocock, 2002).

El mantenimiento de la secreción depende entonces de la interrelación entre la retroalimentación de las tironinas y las concentraciones de TRH y TSH en el plasma. Se sabe bien que la exposición prolongada al frío incrementa la tasa de secreción de TRH en el hipotálamo y de TSH en la hipófisis. También se ha observado que algunas reacciones emocionales o el estrés pueden inhibir la secreción de TRH (Gannong, 2004).

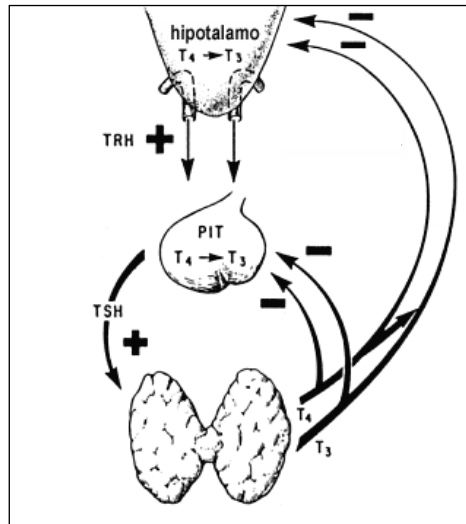


Figura 2. Regulación de la secreción tiroidea. La secreción de las hormonas tiroideas está controlada por el eje hipotálamo-hipófisis-tiroides, dependiendo de la concentración circulante de la TSH hipofisaria la cual aumenta por efecto de la TRH y es inhibida por retroalimentación negativa de T4 y T3. Tomada de: <http://www.aebm.org/jornadas/toledo/4.-%20eje%20hipotalamo.pdf>. Fecha de consulta: 2 de mayo del 2011.

Anteriormente, la función tiroidea normal se definía como aquella en donde la producción de HT era suficiente para normalizar la TMB; sin embargo ahora se define como aquella en donde se mantienen normales las concentraciones plasmáticas de TSH. Es por esto que uno de los mejores indicadores para la evaluación de la función tiroidea es la concentración plasmática de TSH (Gannong, 2004).

1.8. Transporte y distribución de las hormonas tiroideas

Solo una pequeña fracción de las HT viaja a través del torrente sanguíneo en su forma libre ya que la mayoría lo hace unidas a proteínas plasmáticas. Las proteínas plasmáticas que se unen con las HT son la albúmina, la transtirretina y la globulina de unión a T4 (TBG) (Guyton, 1998). La TBG es la proteína que transporta mayores cantidades HT, alrededor del 75% de la T4 viaja unida a la TBG, menos del 0.05% viaja de manera libre y el resto viaja unida a la albúmina y a la prealbúmina. Por su parte el 0.5% de la T3 viaja libre y el resto viaja unida a la TBG (Pocock, 2002).

Parece que las HT entran a las células blanco a través de un proceso que requiere energía y podría ser dependiente del sodio extracelular, una vez que ingresan en el tirocito, la T4 es desyodada a T3 (Guyton, 1998); esta desyodación es necesaria ya que a pesar de que la T4 es la hormona que se produce mayor cantidad es menos activa que la T3, este proceso se considera como un mecanismo de regulación hormonal (Santisteban, 2005).

1.9. Metabolismo de las hormonas tiroideas

Un tercio de la T4 circulante se convierte en T3 en los humanos adultos y el 45% se convierte en T3 reversa (rT3), la cual carece de actividad biológica). La tiroides sólo secreta el 13% de la T3 circulante y el resto se forma por la desyodación de T4. En la desyodación participan 3 desyodasas, cuya característica distintiva es que contienen el aminoácido selenocisteína (Pocock, 2002). La T3 es de 3 a 5 veces más potente que T4, esto se debe a que se une con menor firmeza a las proteínas plasmáticas pero con mayor facilidad a los receptores para HT, es por esto la T4 se desyoda para formar T3 (Gannong, 2004).

Otra vía metabólica de las HT es su conjugación en el hígado para formar sulfatos y glucurónidos que ingresan a la bilis y pasan al intestino. Estos compuestos sufren una hidrólisis para que una parte de ellos sean reabsorbidos y la otra sea excretada en las heces por donde se pierde cerca del 4% del total de yoduro que se pierde a diario (Gannong, 2004).

1.10. Funciones de las hormonas tiroideas

Las HT producen efectos prácticamente en cualquier tejido, participan en el crecimiento y desarrollo de los tejidos, aumentan el consumo de oxígeno y la producción de calor. El mecanismo de acción de las HT es a nivel nuclear: una vez dentro de la célula se unen con los receptores tiroideos que se encuentran en el núcleo, dando paso a la formación del complejo hormona-receptor que se une con el ADN para aumentar o disminuir la expresión de diversos genes que codifican enzimas para la función celular (Gannong, 2004).

El efecto de las HT sobre el aumento de la tasa metabólica basal se atribuye a un aumento del tamaño y el número de mitocondrias y un aumento en las concentraciones de las enzimas de la cadena respiratoria. La T3 y la T4 estimulan la actividad de las Na⁺/K⁺ ATPasas, la tasa de transporte de sodio y potasio y por lo tanto la hidrólisis de ATP y el consumo de oxígeno. El aumento de oxígeno trae como consecuencia un aumento en la temperatura corporal (que habrá que compensarse por mecanismos regulatorios como el sudor y la ventilación). Las HT también aumentan el gasto cardiaco, la frecuencia cardiaca en reposo y el volumen sistólico. Esta acción calorigénica es muy importante en la regulación de la temperatura y la adaptación a los entornos fríos (Pocock, 2002).

El metabolismo de los nutrimentos energéticos también se ve afectado por acción de las HT. Una mayor producción de HT se relaciona con un aumento en la velocidad de captación de glucosa, un incremento en la glucólisis, una mayor velocidad de absorción del tubo digestivo y un aumento en la secreción de insulina; también se observa una potenciación de las acciones de otras hormonas, como la insulina y las catecolaminas (Pocock, 2002). Sobre los lípidos se ha observado que las HT aumentan los niveles plasmáticos de ácidos grasos libres debido a la acción lipolítica que tienen sobre el tejido adiposo, también se observa que los ácidos grasos libres son oxidados más rápidamente, lo cual contribuye al efecto calorigénico. Probablemente todos los efectos se deban al incremento total de enzimas participantes en el metabolismo de hidratos de carbono y lípidos. El efecto global de estos cambios es una disminución en los depósitos de grasa, una disminución de peso y una reducción de los niveles plasmáticos de colesterol y otros lípidos (Guyton, 1998).

Las HT favorecen el desarrollo neuronal, sobre todo en la corteza cerebral y los ganglios basales e incrementan la rapidez de los procesos mentales, por consiguiente, una deficiencia en la producción o utilización de las HT trae como consecuencia retraso mental, rigidez motora y sordera con mutismo (Gannong, 2004). El crecimiento también se ve afectado por la acción de las tironinas ya que son esenciales para la maduración esquelética estimulando el crecimiento lineal del hueso así como la osificación y la maduración de las regiones de crecimiento epifisario, además, se ha visto que hay una disminución en la secreción de hormona del crecimiento en ausencia de tirohormonas (Guyton, 1998). Durante el desarrollo fetal, HT intervienen en la diferenciación y maduración normal de los tejidos, en especial del esqueleto y del sistema nervioso.

2. Enfermedades por deficiencia de yodo

El yodo es un nutrimento inorgánico que es un componente indispensable de las HT (Carrasco, 2005). Debido a que las HT participan en periodos críticos del desarrollo del sistema nervioso central la deficiencia de yodo tiene como consecuencias daños irreversibles en el cerebro (Berbel, 2007). La ingestión de yodo por debajo de las cantidades diarias recomendadas durante periodos prolongados trae consigo una incapacidad de la tiroides para producir HT, esta disminución en las concentraciones séricas de tironinas es el principal factor responsable de las EDY (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007). Las EDY han sido definidas como los efectos de la deficiencia en la ingestión de yodo sobre el crecimiento y el desarrollo tanto de humanos como animales, que pueden ser prevenidas con una ingestión adecuada de yodo y entre las cuales se cuentan el daño cerebral, el bocio, abortos espontáneos, hipotiroidismo, problemas de aprendizaje, entre otras (Hetzl, 2004).

Los efectos de la deficiente ingestión de yodo sobre el organismo dependen de la edad o etapa de desarrollo en la que se presente (Tabla 2). La edad en la que es crucial una ingestión adecuada de yodo es a partir del segundo trimestre de embarazo hasta el tercer año de vida del niño, ya que las HT juegan un papel crucial en el desarrollo del cerebro, sobre todo en la mielinización y los daños ocasionados por la deficiencia en esta edad pueden ser permanentes e incluso mortales (Food and Nutrition, 2000). En el peor de los casos la deficiencia de yodo trae como consecuencia cretinismo, que es el daño cerebral más grave. Sin embargo, el mayor problema de salud pública que afecta a una mayor cantidad de personas es el retraso mental leve y una reducción en las capacidades cognitivas que son consecuencia de la deficiencia moderada de yodo (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007). Varios estudios han evidenciado que la deficiencia de yodo afecta por sí misma al IQ de la población por lo menos en la pérdida de 10 puntos (Quian *et al.*, 2005). En México, un estudio realizado en Colima reveló que una deficiencia moderada en la ingestión de yodo aumentaba 4.26 veces el riesgo de tener un IQ por debajo del percentil 5 (Pineda-Lucatero *et al.*, 2007).

Otra de las manifestaciones más frecuentes de la deficiencia de yodo es el bocio, un crecimiento de la glándula tiroides, la cual también es la consecuencia más visible. El agrandamiento de la glándula se debe a una hipertrofia para producir cantidad suficiente de HT que cubra las necesidades del organismo cuando existen cantidades limitadas de

yodo. Si la adaptación funciona y la deficiencia de yodo no se prolonga, el sujeto no se verá afectado por ningún otro trastorno además del agrandamiento de la glándula. La tiroides agrandada en personas mayores tiene mayor probabilidad de desarrollar nódulos productores de HT debido a que éstos no responden a la regulación de la secreción por retroalimentación. Cuando la tiroides crece demasiado puede comprimir otras estructuras del cuello requiriendo extracción quirúrgica (Food and Nutrition Board, 2000).

Tabla 2. Enfermedades por deficiencia de yodo.

Grupo de edad	Enfermedades por deficiencia de yodo
Todas las edades	Bocio Hipotiroidismo Aumento de sensibilidad a la radiación nuclear
Fetos	Abortos espontáneos Nacimientos prematuros Anomalías congénitas Mortalidad perinatal
Neonatos	Cretinismo endémico Mortalidad infantil
Niños y adolescentes	Retraso mental Disminución en el desarrollo físico Hipertiroidismo inducido por yodo
Adultos	Retraso mental Hipertiroidismo inducido por yodo

Fuente: WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007

2.1. Poblaciones vulnerables a la deficiencia de yodo

A pesar de que la deficiencia de yodo y sus efectos se pueden presentar en cualquier etapa de la vida, las edades en donde es más importante vigilar la suficiencia es en

aquellas en donde la deficiencia en su consumo ejerce efectos más graves en el organismo, es decir, durante el proceso de formación y maduración más acelerado del sistema nervioso central que va de la semana 15 de la gestación hasta el tercer mes de vida. Durante la gestación y la lactancia la proveedora de este aporte de yodo es la madre, por lo que debe aumentar su consumo para cubrir sus propias necesidades de yodo y para cubrir las de su hijo (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007). Los habitantes de las zonas montañosas también son una población vulnerable a esta deficiencia debido a la carencia natural de yodo que presentan los suelos en estas regiones, la cual se debe a la erosión y al arrastre que ejercen las aguas pluviales (Dunn, 1996). Los niños en edad escolar también son una población vulnerable a la deficiencia de yodo ya que son más sensibles a cualquier cambio en la ingestión de yodo y por la misma razón son el grupo de edad en el que se pueden vigilar más fácilmente los cambios en la ingesta en yodo una población.

2.2. Estrategias para la erradicación de las EDY

Desde el primer estudio de revisión que hizo la OMS en 1960 de la situación de la suficiencia de yodo en 115 países del mundo (Anderson *et al.*, 2005); las acciones más significativas que se tomaron para asegurar la ingestión de yodo en la mayor parte de la población fue suplementar con yodo ciertos alimentos, como el pan, la leche, el aceite o la sal. En México, en 1962 el presidente Adolfo López Mateos publicó un decreto por el que se declara de interés nacional la prevención del bocio en la República Mexicana y hace obligatoria la yodación de la sal destinada para consumo humano directo y la usada en elaboración de productos alimenticios, siendo estipulado que la cantidad de yodo adicionada tendría que ser de 20 ppm (Secretaría de Salubridad, 1962). Sin embargo fue hasta el año de 1994 que la OMS recomendó la yodación universal de la sal ya que se vio que la sal de mesa es uno de los pocos alimentos consumidos por todos, cuyo consumo se mantiene estable a lo largo del año. La sal es elaborada por una pequeña cantidad de productores, la técnica de adicionar con yodo de la sal es fácil de implementar y de costo razonable. Es relativamente sencillo implementar los programas de yodación universal de la sal y la calidad de sal yodada puede ser monitoreada a varios niveles (producción, almacenamiento y distribución y en los hogares) (Benoist *et al.*, 2004).

Actualmente se recomienda que la sal sea adicionada con 20 a 40 partes por millón (ppm) de yodo, sin embargo, cada país tiene su propia normativa. En México se publicó en 1995 la NOM-040-SSA1-1993 que refiere las especificaciones sanitarias para la sal yodada y fluorada y menciona que la cantidad de yodo que las salineras deben adicionar a la sal es de 30 ± 10 ppm (Secretaría de Salud, 1995). Las formas más comunes en las que se presenta el yodo adicionado a la sal es como yodato de potasio o como yoduro de potasio, siendo preferible el yodato ya que es más resistente a condiciones climáticas como el calor y la humedad (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007). Sin embargo, a pesar de que se lleve a cabo una adición adecuada de yodo en la planta salinera, hay formas en las que se puede perder gran parte del yodo contenido en la sal, desde que sale de la productora hasta que llega al hogar y es consumida, por lo que se debe llevar a cabo un seguimiento y conocer la cantidad de yodo con la que la sal es consumida. Al igual que el seguimiento que se le debe dar a la yodación de la sal, se debe vigilar el consumo de yodo a través de los indicadores descritos a continuación.

2.2.1. Indicadores para evaluar la suficiencia de yodo a nivel poblacional

Para evaluar la ingestión de yodo en una población, WHO-UNICEF-ICCIDD han establecido dos indicadores principales: la mediana de excreción de yodo en la orina (yoduria) y la prevalencia de bocio.

El bocio es el signo más visible de la deficiencia y es por esta razón que anteriormente había sido el indicador más utilizado. Existen dos formas de evaluar el tamaño de la glándula: por palpación y por ultrasonografía. Cuando la medición es a través del método de palpación, la referencia para el diagnóstico de bocio es la falange distal del pulgar del observador, cuando cada lóbulo la supera en volumen quiere decir que la glándula está agrandada. Para la evaluación por ultrasonido se puede consultar la sección de materiales y métodos del presente trabajo. Con el tiempo se ha visto que el bocio es un signo que no refleja los cambios agudos en la ingestión de yodo y por lo tanto la evaluación del tamaño de la tiroides sólo es útil en estudios cuya finalidad es conocer la severidad de la EDY y en aquellos estudios que evalúan el impacto de los programas de erradicación de las EDY a un largo plazo (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007).

Desde que se dio la implementación de programas de erradicación de las EDY, sobre todo el de yodación universal de la sal, se ha requerido de indicadores que sean útiles

para reflejar el impacto que han tenido estos programas sobre el estado nutricional de yodo de las poblaciones. Se ha visto que la yoduria es útil para observar cambios agudos en el consumo de este micronutriente.

Cuando se quiere conocer la cantidad de yodo que consume un individuo en un día es técnicamente aceptable cuantificar el existente en una muestra de orina 24 horas, ya que el 90% del yodo que se ingiere a lo largo del día es excretado a través de la orina; como el consumo de yodo varía de día a día es necesario repetir este proceso a lo largo de varios días para saber si el individuo lo consume de manera suficiente (Zimmermann, 2008). Cuando se quiere saber la suficiencia del consumo de yodo en una población es técnicamente complicado efectuar este procedimiento en todos los individuos que la conforman (Zimmermann, 2008), sin embargo diversos estudios han demostrado que la mediana de yoduria es un indicador confiable del consumo de yodo en una población cuando se obtienen muestras casuales de orina de un número suficiente de individuos (se recomienda un mínimo de 30). La recolección de muestras casuales y su análisis es sencillo y rápido de llevar a cabo, siempre y cuando se tenga un espacio que sea libre de contaminación con yodo (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007).

En la Tabla 3 se muestran criterios para evaluar el estado nutricional de yodo de una población a partir de la mediana de yoduria que han establecido las organizaciones internacionales:

Tabla 3. Criterios para la evaluación del estado nutricional de yodo.

Mediana de yoduria (µg/L)	Consumo de yodo	Estado nutricional de yodo
<20	Insuficiente	Deficiencia severa
<50	Insuficiente	Deficiencia moderada
50-99	Insuficiente	Deficiencia leve
100-199	Adecuado	Adecuado
200-299	Arriba de los requerimientos	Riesgo bajo de consecuencias adversas a la salud
>300	Excesivo	Riesgo de consecuencias adversas a la salud

Fuente: OMS-UNICEF-ICCIDD, 2007

Otros indicadores usados para evaluar el estado nutricional del yodo son los niveles circulantes de la TSH y la Tg, estos son útiles para reflejar los cambios en la ingestión de yodo a mediano plazo (Zimmermann, 2008).

En México los lineamientos para vigilancia epidemiológica de las EDY están escritos en la NOM-038-SSA2-2002 (Secretaría de Salud, 2003). Esta norma establece que la detección de las EDY se debe llevar a cabo de manera continua, con una periodicidad trianual a través de encuestas poblacionales aplicadas a localidades centinela y a través de la presencia de bocio evaluada por palpación o por ultrasonografía y a través de la yoduria.

2.3. Situación actual de las EDY

Desde que la yodación de la sal se estableció como estrategia de erradicación de las EDY en casi todo el mundo, la prevalencia de las EDY ha disminuido dramáticamente. Se sabe que el 68% de los hogares tienen acceso a una sal adecuadamente yodada. Sin embargo, un análisis acerca del estado nutricional de yodo realizado en 130 países reveló que aún existen 47 países que consumen yodo en cantidad insuficiente, 49 adecuadamente, 27 lo consumen por arriba de los requerimientos y 7 en exceso. El mismo estudio reveló que el continente que ha tenido más logros en la eliminación de las EDY es América ya que solamente el 10.6% de la población tiene una mediana de yoduria que indica un consumo

de yodo deficiente en comparación con Europa en donde este mismo indicador señaló que 52.4% de la población consume yodo de manera insuficiente (Anderson *et al.*, 2007).

En México hay pocos datos recientes refieran la situación de yodo. En la encuesta nacional de nutrición de 1999 (Rivera *et al.*, 2001) se estimó una mediana nacional de yoduria de 235 µg/L. Pero otros estudios, llevados a cabo en sitios centinela que, por sus condiciones geográficas, eran vulnerables a sufrir deficiencias, se encontraron medianas de yoduria menores a la nacional. Incluso en uno de ellos aún se reportó una mediana de yoduria de 93 µg/L para Huejutla, Hidalgo (Martínez-Salgado, 2002), lo cual quiere decir que el dato nacional que indica un consumo de yodo por arriba de los requerimientos podría enmascarar las deficiencias existentes en sitios específicos. En la Tabla 4 se muestra un resumen de los estudios mencionados.

Tabla 4. Estudios más recientes (1997-2003) en México donde se evaluó el estado nutricional del yodo a través de la yoduria.

Lugar	N	Yoduria Mediana (µg/L)	Año**	Referencia
Nacional	585	235*	1998-1999	Rivera <i>et al.</i> , 2001
Jalisco (Arandas)	238	155*	1997-1999	Vásquez-Garibay <i>et al.</i> , 2002
Hidalgo (Pachuca, Ixmiquilpan, Huejutla)	Pachuca: 220, Ixmiquilpan: 222, Huejutla: 231	Pachuca: 133, Ixmiquilpan: 145, Huejutla: 93	DND	Martínez-Salgado <i>et al.</i> , 2002
23 sitios centinela	1,150	176	1998-1999	Pretehl <i>et al.</i> , 2004
Chihuahua (Sierra Tarahumara)	100	123	2003	Monárrez-Espino y Greiner, 2004
Colima (Cuauhtémoc)	303	201	2002-2003	Pineda-Lucatero <i>et al.</i> , 2008

n: Número de individuos que participaron en el estudio. DND=Dato no disponible. *Mediana de yoduria obtenida a partir del porcentaje de la población con excreción urinaria menor a 100 µg/L (Benoist *et al.*, 2004); **Año en que fue efectuado el estudio.

También existen datos que reportan una prevalencia de bocio que rebasa la meta establecida en la NOM-038-SSA2-2002, la cual señala que este indicador no debe superar el 5% (Tabla 5).

Tabla 5. Estudios más recientes (1997-2003) en México en donde se ha evaluado el estado nutricional del yodo a través de la prevalencia de bocio.

Lugar	n	Bocio (%)	Año*	Autor
Hidalgo (Pachuca, Ixmiquilpan, Huejutla)	Pachuca: 220. Ixmiquilpan: 222. Huejutla: 231.	Pachuca: 8, Ixmiquilpan: 9, Huejutla: 14,	DND	Martínez-Salgado <i>et al.</i> , 2002
Chihuahua (Sierra Tarahumara)	100	7	2003	Monárrez-Espino y Greiner, 2004
23 sitios centinela	2,118	20	1998-1999	Pretell <i>et al.</i> , 2004
Colima (Cuauhtémoc)	303	21	2002-2003	Pineda-Lucatero <i>et al.</i> , 2008

n: Número de individuos que participaron en el estudio. DND= Dato no disponible. *Año en que fue efectuado el estudio.

3. Generalidades de la Sierra Gorda queretana

La Sierra Gorda queretana se encuentra ubicada al norte del estado de Querétaro y forma parte de la Sierra Madre Oriental, está conformada por una serie de cadenas montañosas paralelas con dirección Noroeste-Sureste, principalmente de rocas calizas (Velasco, 1993). La Sierra Gorda queretana comprende los municipios de Pinal de Amoles, Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Landa de Matamoros y San Joaquín. Tiene una extensión de 3,789 km² y una densidad de 18.5 habitantes por kilómetro cuadrado. La principal población es Jalpan de Serra (Álvarez, 2001).

El relieve de esta región conjuga altas montañas que descienden hacia la tierra caliente, con cañadas estrechas en donde se originan pequeñas corrientes y después se abren valles más amplios. Los ríos importantes son el Escanela, que pasa por Pinal de Amoles; el Santa María, el Santa Clara y el Jalpan, controlado este último en la única presa existente en la región; todos estos son parte del sistema Pánuco-Moctezuma. Las altitudes en la Sierra Gorda van de los 200 a más de los 2,400 metros sobre el nivel del mar, lo cual permite la existencia de una amplia variedad de climas que permite gran variedad de fauna y flora (Álvarez, 2001).

Sin embargo, gran parte del territorio de la Sierra ha sufrido deforestación debido a la tala inmoderada y al uso del suelo para la agricultura, la asociación vegetal más afectada ha

sido la del bosque del pino y del encino, por la sobreexplotación de la madera y la limpieza del cerro para milpas estacionarias (Álvarez, 2001).

3.1. Descripción del territorio geográfico de los municipios estudiados

3.1.1. Jalpan de Serra

Se encuentra al norte del estado de Querétaro (Figura 3), entre las coordenadas los paralelos 21°40'11" y 21°05'53" de latitud Norte y entre los meridianos 99°06'21" y 99°32'58 de longitud Oeste. Sus altitudes varían desde los 200 en el extremo Norte hasta los 2,400 msnm en el extremo Sur. Tiene una extensión territorial equivale al 9.5% de la extensión estatal. En este territorio se presentan cañones, sierras y pequeñas planicies, esta variedad en el relieve junto con el sistema de escurrimiento favorece una gran diversidad de vegetación y fauna (Gobierno del estado de Querétaro, 2010)...

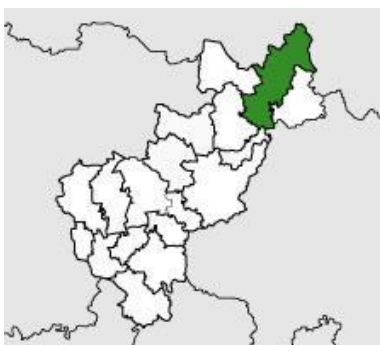


Figura 3. Ubicación del municipio de Jalpan de Serra en el estado de Querétaro. Fuente: www.queretaro.gob.mx.

3.1.2. Landa de Matamoros

Se encuentra ubicado en el noreste del estado (Figura 4) entre las coordenadas geográficas 21°06' y 21°27' de latitud Norte y 99°03' a 99°22' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Está delimitado políticamente por el municipio de Jalpan al Poniente y al norte, Xilitla, San Luis Potosí y Pisaflores, Hidalgo, y los municipios de Misión y Pácula, Hidalgo al Sur. Su extensión territorial equivale al 7.1% del total de la entidad. El municipio está formado principalmente por sierras de pendientes abruptas

formadas por cerros y barrancas localizados en la parte noreste del estado. El cerro más alto mide 2,720 m de altura. En el río Moctezuma y el arroyo Plan de Hongos se encuentra la formación de cañones que tienen pendientes de moderadas a abruptas (Gobierno del estado de Querétaro, 2010).



Figura 4. Ubicación del municipio de Landa de Matamoros en el estado de Querétaro. Fuente: www.queretaro.gob.mx.

3.1.3. Pinal de Amoles

Localizado en la parte norte del estado (Figura 5) entre las coordenadas geográficas 99°26' y 99°43' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y entre los paralelos 20°58' y 21°21' de latitud Norte. Su extensión territorial ocupa el 5.2% del estado (Gobierno del estado de Querétaro, 2010).

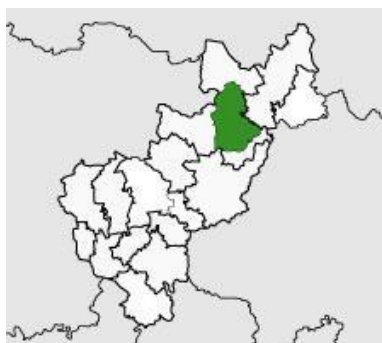


Figura 5. Ubicación del municipio de Pinal de Amoles en el estado de Querétaro. Fuente: www.queretaro.gob.mx

Es un municipio que presenta alineamientos de montañas de noroeste a sureste, representadas por sierras altas alargadas y plegadas con relieves abruptos y pendientes pronunciadas. El cerro más alto mide 3,160 msnm. Hay valles en todo el municipio, se encuentran entre las montañas por lo que son estrechos y labrados en forma de “V”. Las planicies son muy restringidas y hay una gran cantidad de cañones de pendientes abruptas formadas por los arroyos que por ahí corren (Lara, 1995).

3.1.4. San Joaquín

Se encuentra en la parte Centro-Norte del estado entre las coordenadas: 99° 22' y los 99° 39' de longitud Oeste, y entre los 21° 07' y 20 ° 53' de latitud Norte (Figura 6). Tiene una extensión territorial de 499 Km², que equivale al 4.2% del estado. Colinda al Norte con Jalpan de Serra y Pinal de Amoles, por el Sur con Cadereyta de Montes, por el Oriente con Cadereyta y con el municipio de Pácula, Hidalgo y por el poniente con Cadereyta y Pinal de Amoles (Gobierno del estado de Querétaro, 2010).

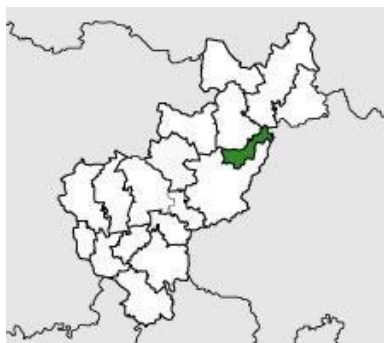


Figura 6. Ubicación del municipio de San Joaquín en el estado de Querétaro Fuente: www.queretaro.gob.mx

El relieve de este municipio está conformado por sierras pegadas con pendientes abruptas. La mayor elevación es el cerro de San Antonio con 2,680 msnm. Sus corrientes fluviales son principalmente alimentadas por pequeños manantiales y sobre todo por torrentes que aportan grandes caudales desde la parte alta de la sierra, durante la temporada de lluvias y que transcurren por el fondo de profundas barrancas, con una variación de altitudes que va desde los 2,400 msnm hasta los 900 msnm que desaguan (Lara, 1995).

3.2. Actividades económicas en la Sierra Gorda Queretana

Debido a que la mayor parte de las redes hidrológicas corre entre cañadas y cañones profundos queda poca oportunidad para que se pueda aprovechar para la agricultura (Lara, 1995), sin embargo, hay algunas zonas donde se da la producción de maíz, chile, frijol, papa, garbanzo, plátano, café, caña de azúcar y jitomate que se usa principalmente para autoconsumo. También hay zonas donde hay una importante actividad ganadera en donde se cría ganado porcino, bovino, ovino, caprino, equino y algunas aves de traspatio (Gobierno del Estado de Querétaro, 2010).

Existen algunos establecimientos catalogados como industria de transformación, entre los que se cuentan: tabiqueras, tortilleras, carpinterías, aserraderos, molindas de nixtamal y un taller de cerámica (Gobierno del Estado de Querétaro, 2010). En la Sierra Gorda Queretana una de las actividades económicas más fuertes es el turismo ya que cuenta con una gran variedad de atractivos naturales y arquitectónicos que atrae tanto a los turistas nacionales como a los extranjeros (Gobierno del Estado de Querétaro, 2010).

3.3. La Sierra Gorda Queretana, una región vulnerable a la deficiencia de yodo.

La Sierra Gorda Queretana es una región vulnerable a la deficiencia de yodo por tres razones principales: 1) es una región donde predominan las zonas altas y montañosas, 2) existen zonas en donde existe un alto grado de pobreza alimentaria (Tabla 6), sobre todo en los municipios de Pinal de Amoles y San Joaquín; 3) los municipios de la Sierra Gorda de Querétaro forman parte del listado de los 10 municipios con prioridad de atención para la implementación de programas alimentarios según la prevalencia de talla baja (Tabla 7).

Tabla 6. Características demográficas y económicas de los municipios de la Sierra Gorda: comparativo con la capital del estado.

Municipio	Población total¹	Altitud² (msnm)	Pobreza alimentaria³ (%)
Pinal de Amoles	25 325	2320	49.7
San Joaquín	7 634	2440	35.7
Jalpan de Serra	22 025	200 a 2440	29.8
Landa de Matamoros	18 905	1040	26.1
Querétaro	734 139	1 853	4.3

¹Datos tomados del II Censo de Población y Vivienda 2005. Disponible en www.inegi.org.mx. Fecha de consulta: 12 de abril de 2010. ² msnm= metros sobre nivel del mar. Información obtenida de www.queretaro.gob.mx. ³Tomado de Mapas de pobreza y Rezago Social 2005. Disponible en: <http://www.coneval.gob.mx>. Fecha de consulta: 8 de abril 2010.

Tabla 7. Prioridad de atención según prevalencia de talla baja.

Lugar	Municipio	Prevalencia de talla baja (%)
1	Pinal de Amoles	19.71
2	San Joaquín	15.60
3	Amealco de Bonfil	14.70
4	Tolimán	12.54
5	Landa de Matamoros	12.13
6	Peñamiller	10.38
7	Colón	9.70
8	Cadereyta de Montes	9.68
9	Jalpan de Serra	9.56
10	El Marqués	7.93

Fuente: DIF- INCMNSZ- INEGI, 2006. 4° Censo Nacional de Talla, 2004. SEDIF- Qro.

IV. OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar la suficiencia de yodo en niños escolares de 6 a 12 años de 4 municipios de la Sierra Gorda Queretana (Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles y San Joaquín del Estado de Querétaro).

Objetivos específicos:

1. Determinar la mediana de la yoduria global, municipal y por localidad.
2. Determinar la prevalencia de bocio global y municipal.
3. Determinar cualitativamente el contenido de yodo en la sal de mesa consumida por los niños.
4. Determinar cuantitativamente la cantidad de yodo en una submuestra de la sal de mesa consumida por los niños.
5. Determinar el estado nutricional de los niños y correlacionarlo con la yoduria.
6. Determinar la madurez visomotora de los niños seleccionados para el estudio y correlacionarla con la yoduria.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y sujetos de estudio

Se trata de un estudio poblacional (transversal) en niños escolares de entre 6 y 12 años que asisten a escuelas primarias públicas en los municipios de Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles y San Joaquín del estado de Querétaro.

Tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra fue de 600 niños escolares entre 6 y 12 años que acuden a escuelas primarias públicas de los municipios de seleccionados. Por municipio se eligieron al azar cinco escuelas que tuvieran al menos 30 niños. Las escuelas fueron identificadas gracias al censo de la USEBEQ (2008) y al Sistema de Información Geográfica Educativa del Portal de Sistema de Información Territorial y Estadística del estado de Querétaro (Gobierno del Estado de Querétaro, 2008) (www.queretaro.gob.mx). En cada escuela se le solicitó a los directores que eligieran aleatoriamente de 30 a 35 niños, ya que para calcular la mediana de la yoduria por localidad se requieren al menos de 30 escolares (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007). El tamaño mínimo de la muestra para un diseño totalmente aleatorizado sería de 176 niños distribuidos en 94 escuelas. El cálculo se obtuvo con ayuda del programa EPI-INFO versión 6 (CDC, Atlanta, EUA) considerando, los siguientes datos: Tamaño del universo: 14,350 escolares que asisten a escuelas primarias públicas y que residen en los municipios de Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles y San Joaquín del Estado de Querétaro (USEBEQ, 2008); prevalencia esperada del factor estudiado: 10.5% (Martínez-Salgado *et al.*, 2002); peor resultado aceptable: 6% (Martínez-Salgado *et al.*, 2002) y un nivel de confianza de 95%. Debido a las limitaciones en recursos humanos la realización de un muestreo probabilístico no era factible, por ello el muestreo se realizó como se indica arriba. Los criterios de inclusión, y eliminación se enlistan a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Criterios de inclusión y eliminación.

A) Criterios de inclusión

Niñas y niños escolares.

Edad de 6 años cumplidos a 12 años 11 meses.

Asista a escuelas públicas de educación básica (primaria).

Residente en cualquiera de los siguientes municipios del Estado de Querétaro: Landa de Matamoros, Jalpan de Serra, Pinal de Amoles y San Joaquín.

B) Criterios de eliminación

Niñas y niños que no hayan sido localizados

Niñas y niños cuya muestra de orina no se haya preservado adecuadamente o haya sufrido daños que puedan alterar los resultados

Niñas y niños cuya hoja de recolección de datos haya sido llenada de forma incompleta y/o con información dudosa.

1. Registro de datos personales, variables antropométricas y socio-demográficas.

De cada escolar se registró el lugar de residencia, la edad, la escuela a la que asiste y se tomó el peso y la talla conforme a técnicas estándar (Ávila-Rosas, 2008) y se estimó el índice de masa corporal (IMC).

2. Determinación de yodo en orina.

El halógeno urinario se determinó según el método descrito por Pino *et al.*, (1996). Primero, la orina se digirió con persulfato de amonio (1 mM) para eliminar las sustancias que interfieren con el análisis espectrofotométrico posterior. Una vez digerida se procedió a realizar la reacción de Sandell-Kolthoff. Esta reacción se lleva a cabo en un medio ácido y utiliza el yodo presente en la orina como catalizador de la reducción de sulfato cérico (color amarillo) a sulfato ceroso (incolore). El cambio de coloración se detectó utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm. Para la clasificación de los

valores obtenidos se emplearon los criterios internacionales de la WHO-UNICEF-ICCIDD (2007), (Ver tabla 3, en la página 12).

3. Detección de bocio.

El tamaño de la tiroides se midió utilizando un ultrasonido portátil Fukuda-Denshi UF 4100 equipado con un transductor lineal de 7.5 MHz. Para determinar el volumen total de la glándula se consideró la suma de los volúmenes de cada lóbulo sin considerar el istmo. La prevalencia de bocio se definió como el porcentaje de individuos con volumen tiroideo mayor al percentil 97 ajustado a la edad según la Norma Oficial Mexicana NOM-038-SSA2-2002. El escaneo de la tiroides de los niños se realizó mientras estos se encontraban en posición supina, con una almohada por debajo del cuello para lograr que un cuello hiperextendido, procurando que mantuvieran esta posición durante la examinación que duraba aproximadamente de 1.5 a 2 minutos (Zimmerman *et al.*, 2004).

La medición de los lóbulos de la tiroides se hizo ubicando el transductor de forma transversal sobre la horquilla esternal en forma perpendicular a la piel y partiendo de ahí moviendo el transductor para observar la tiroides desde abajo hacia arriba con la intención de ubicar el diámetro transversal mayor de ambos lóbulos, se congela la imagen y se mide tanto el ancho (con una línea horizontal) como la profundidad –con una línea vertical- del lóbulo (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007). Una vez medido el lóbulo derecho se hace el mismo procedimiento para obtener la medida del izquierdo. La longitud de cada lóbulo se midió colocando el transductor sobre la horquilla esternal en posición sagital con el extremo superior divergiendo ligeramente de la línea media -debido a la convergencia de los lóbulos por su parte inferior- y desplazándolo hacia arriba para observar el largo de la glándula por completo; en caso de que la longitud rebase la dimensión del transductor, la medición se hizo haciendo uso de la función de pantalla dividida identificando un rasgo anatómico que ubicara el punto desde donde se hizo la segunda toma (WHO-UNICEF-ICCIDD, 2007). Una vez obtenidas las tres medidas suman ambos lóbulos cuyo volumen se calcula usando la siguiente fórmula:

$$V \text{ (mL)} = 0.479 \times P \times A \times L \text{ (cm)}$$

Donde: V = Volumen; P= profundidad; A= ancho y L= largo.

El personal que realizó la medición fue la autora de este trabajo, quien fue entrenada con una endocrinóloga capacitada y certificada en ultrasonografía de tiroides.

La evaluación del volumen de la tiroides se hizo usando las tablas publicadas en la NOM-038-SSA2-2002, cuyos puntos de corte para el percentil 97 se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Límite superior del volumen normal de la tiroides evaluada por ultrasonografía.

Edad	Volumen tiroideo (mL)	
	Niño	Niña
6	5.4	5.0
7	5.7	5.9
8	6.1	6.9
9	6.8	8.0
10	7.8	9.2
11	9.0	10.4
12	12.0	13.1

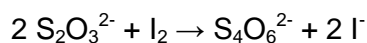
Fuente: NOM-038-SSA2-2002

4. Determinación cualitativa de yodo en la sal.

A cada niño se pidió una muestra de la sal de consumo en la preparación de alimentos en su casa. El análisis cualitativo del contenido de yodo en la sal se realizó mediante un kit para análisis de yodatos en la sal (Biotecssa, S.A. de C.V, México). El kit de yodatos en sal está compuesto por un acidificante, yoduro de potasio y una solución estabilizada de almidón. Se preparó una solución de 10 g de sal y 20 ml de agua destilada a la que se le agregaron los reactivos del kit en el orden que se indica, en primer lugar el reactivo Y1 (acidificante), seguido por el Y2 (yoduro de potasio), cuando la solución en este punto se torna de color amarillo, se toma como positiva a presencia de yodatos. El kit se utilizó para determinar el porcentaje de hogares que consumen sal yodada.

5. Determinación cuantitativa de yodo en sal

La determinación cuantitativa de yodo en la sal se hizo en una submuestra representativa del total de muestras recolectadas para el análisis cualitativo de yodo a través del método de titulación con tiosulfato de sodio. El principio de este método es que en medio ácido el yodo es liberado del yodato bajo la influencia de la cantidad de yoduro. El yodo liberado es titulado con una solución de tiosulfato de sodio 0.005 N, adicionando solución indicadora de almidón cerca del punto de equivalencia, cuando el yodo liberado amarillo se va tornando pálido (WHO-UNICEF-ICCID, 2007). La reacción general del procedimiento es:



El total de muestras para analizar cuantitativamente se obtuvo considerando, los siguientes datos: Total de muestras de sal recolectadas (n= 357); porcentaje de muestras que no cumplen con la norma NOM-038-SSA2-2002: 30% (Pretell *et al.*, 2004); peor resultado aceptable: 10 % (Secretaría de Salud, 2003); Intervalo de confianza del 99.9%. El tamaño de muestra obtenido fue de 50. El total de muestras mínimo requerido por municipio fue de 13.

6. Evaluación del nivel de maduración visomotora

La evaluación del nivel de la maduración visomotora de los niños se hizo a través del test gúestáltico visomotor o test Bender-Gestalt (Bender, 1995) que fue aplicado por la autora de esta tesis. El test Bender-Gestalt parte de la teoría gúestáltica de la función visomotora, la cual es una función fundamental que se logra durante el desarrollo de las primeras etapas de la vida (Muela-Martínez *et al.*, 2008). El test evalúa las habilidades viso-espaciales y constructivas a través del análisis de la copia de nueve dibujos y se relaciona directamente con la capacidad de lenguaje y diversas funciones de la inteligencia (Muela-Martínez *et al.*, 2008).

7. Diagnóstico nutricional

El diagnóstico nutricional de cada niño se realizó a través de dos indicadores: el IMC para la edad y la talla para la edad según las tablas de la OMS (2006).

8. Consideraciones éticas.

Debido a su naturaleza, el estudio no implicó ningún daño y/o riesgo alguno para las personas y familias involucradas. Se pidió la firma del consentimiento informado de las personas que participaron en el estudio. En este caso como se trató de menores de edad, se requirió el permiso de los padres y/o tutores. Este protocolo se apegó a la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial y fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro.

9. Análisis estadístico de los datos.

El análisis de los datos se realizó creando una base de datos en Excel® (Microsoft Office 2007, Seattle, WA) en la cual se analizó la información. También se utilizó el programa Prism® (GraphPad, La Jolla, CA), para hacer análisis estadísticos y graficar los datos. La yoduria se expresó en función de la mediana y el rango, por localidad, municipio y global. Las medianas de la yoduria se compararon con el método no paramétrico de Kruskal-Wallis. La concentración de yodo en sal se expresó en forma de mediana, promedio y desviación estándar para cada uno de los municipios y de manera general. La prevalencia de bocio se expresó en porcentaje por municipio y el porcentaje de bocio en la población total de la Sierra Gorda Queretana. Para determinar la correlación entre la yoduria y la maduración visomotora, se aplicó un análisis de correlación de Spearman.

VI. RESULTADOS

Descripción general de la población

Se evaluaron 606 niños que asisten a 20 escuelas ubicadas en 5 diferentes localidades de cada uno de los municipios elegidos (Landa de Matamoros, Jalpan de Serra, Pinal de Amoles, San Joaquín). La relación femenino/masculino fue de 1.06 y la edad promedio fue de 9.4 años. En la Tabla 10 se muestra el número total de niños, la relación femenino/masculino y el promedio de edad por municipio.

Tabla 10. Descripción general de la población estudiada.

Municipio	N	Relación F/M	Edad (años), Promedio ± DE
Jalpan de Serra	149	0.88	9.5 ± 2.03
Landa de Matamoros	154	1.51	9.5 ± 2.04
San Joaquín	151	1.01	9.2 ± 2.0
Pinal de Amoles	152	0.92	9.6 ± 1.5
Total	606	1.06	9.4 ± 2.0

n: Niños estudiados por municipio; F/M: cantidad de individuos del sexo femenino/cantidad de individuos del sexo masculino. DE = desviación estándar

1. Excreción urinaria de yodo

La mediana de yoduria para los 4 municipios fue de 271 µg/L indicando un consumo de yodo por arriba de los requerimientos. Por otra parte, el análisis de la mediana de la yoduria por municipio reveló que, si bien globalmente hay un consumo de yodo por arriba de los requerimientos existen diferencias significativas en la yoduria (Tabla 11). Al analizar estadísticamente las medianas se encontró que la mediana de yoduria del municipio de Pinal de Amoles es significativamente menor que las medianas de la yoduria de Jalpan de Serra y de San Joaquín pero no con respecto a la mediana de la yoduria de Landa de Matamoros.

Tabla 11. Excreción urinaria de yodo por municipio.

Municipio	N	Yoduria ($\mu\text{g/L}$), Mediana (Rango)	Consumo de yodo
Jalpan de Serra	149	288 (10-1205) ^a	Arriba de los requerimientos
San Joaquín	152	282 (3-1282) ^a	Arriba de los requerimientos
Landa de Matamoros	154	278 (4-1403) ^{a,b}	Arriba de los requerimientos
Pinal de Amoles	151	228 (6-1250) ^b	Arriba de los requerimientos
Global	606	271 (3-1403)	Arriba de los requerimientos

Superíndices diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Los datos se analizaron con la Prueba no paramétrica unifactorial por rangos de Kruskal-Wallis y la prueba *post hoc* de Dunn.

Por otra parte, a pesar de que los resultados de la mediana de la yoduria global y la de los municipios señalan un consumo de yodo por arriba de los requerimientos cuando se hizo el análisis por localidad se encontró que de las 20 localidades estudiadas, 2 de ellas tienen un consumo insuficiente de yodo, 2 de ellas lo consumen de forma adecuada, 10 por arriba de lo recomendado y 6 de forma excesiva (Tabla 12).

Tabla 12. Excreción urinaria de yodo por localidad.

Municipio/Localidad	n	Relación F/M	Edad (años), Promedio \pm DE	Yoduria ($\mu\text{g/L}$), Mediana (Rango)	Consumo de yodo
Jalpan de Serra					
Tierra Fría	26	0.63	9.2 \pm 1.9	476 (39-1036)	Excesivo
Jalpan de Serra	31	0.94	9.2 \pm 1.8	339 (49-1024)	Excesivo
El Lindero	32	1.00	9.4 \pm 1.7	284 (75-1205)	Arriba de los requerimientos
Soledad de Guadalupe	30	1.14	8.9 \pm 2.0	269 (10-561)	Arriba de los requerimientos
San Vicente	30	0.76	10.6 \pm 2.3	233 (75-545)	Arriba de los requerimientos
San Joaquín					
Apartadero	30	0.67	9.7 \pm 1.9	391 (117-760)	Excesivo
Nvo. San Joaquín	31	1.21	9.6 \pm 2.0	295 (128-1282)	Arriba de requerimientos
San Joaquín	31	1.07	9.2 \pm 1.5	275 (3-1225)	Arriba de los requerimientos
San Cristóbal	30	0.88	10.4 \pm 2.0	242 (61-1078)	Arriba de los requerimientos
San Agustín	30	0.88	9.3 \pm 2.0	130 (5-708)	Adecuado
Landa de Matamoros					
Encino Solo	31	1.2	9.6 \pm 2.5	532 (4-1403)	Excesivo
La Yerbabuena	32	1.46	9.9 \pm 1.4	324 (17-1164)	Excesivo
Otates	31	1.21	9.7 \pm 2.1	292 (71-676)	Arriba de los requerimientos
Landa de Matamoros	30	1.31	9.1 \pm 2.1	257 (12-758)	Arriba de los requerimientos
La Yesca	30	3.28	10.0 \pm 1.3	77 (5-434)	Insuficiente
Pinal de Amoles					
Pinal de Amoles	31	0.94	9.2 \pm 1.5	437 (61-1250)	Excesivo
San Isidro	31	1.07	9.7 \pm 2.1	254 (24-590)	Arriba de los requerimientos
Llano de Huaxquilico	30	0.88	8.9 \pm 2.2	211 (15-343)	Arriba de los requerimientos
Casas Viejas	30	0.88	8.7 \pm 1.8	155 (42-581)	Adecuado
Epazotes Grandes	29	1.42	9.0 \pm 2.4	74 (6-546)	Insuficiente
Global	606	1.06	9.4 \pm 2.0	271 (3-1403)	Arriba de los requerimientos

F/M: relación de los sexos femenino y masculino.

2. Prevalencia de bocio

Se evaluó el tamaño de la glándula tiroides por ultrasonido en 560 niños, de los cuales 3 ellos presentaron bocio de acuerdo a los criterios señalados por la Norma Oficial Mexicana NOM-038-SSA2-2002 (Tabla 13). El bocio se definió como una tiroides con un tamaño por arriba del percentil 97 de acuerdo a los valores de referencia ajustados para la edad (Secretaría de Salud, 2003).

Tabla 13. Prevalencia de bocio por municipio.

Municipio	n	Bocio (%)
Jalpan de Serra	123	0
Landa de Matamoros	154	0
Pinal de Amoles	136	0.7
San Joaquín	147	1.4
TOTAL	560	0.53

*Se tomó como criterio de referencia las tablas publicadas por la NOM-038-SSA2-2002

3. Contenido de yodo en la sal.

El contenido de yodo se analizó tanto de forma cualitativa como cuantitativa. Se logró recolectar 357 muestras de sal y se les aplicó el test cualitativo de detección de yodatos. Del total de las muestras el 6% dieron negativo a la detección de yodato. El municipio de Pinal de amoles fue en el que se encontró mayor número de muestras negativas a yodatos (15%), Seguidas por Jalpan (9%) y Landa de Matamoros (2%). Por su parte en el municipio de San Joaquín el 100% de las muestras fueron positivas a yodatos. Los datos por municipio y localidad se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Porcentaje de muestras de sal de mesa negativas a yodatos por municipio.

Municipio/Localidad	Total de muestras	Muestras negativas a yodatos	
		N	%
Jalpan de Serra	89	8	9
San Joaquín	79	0	0
Landa de Matamoros	128	3	2
Pinal de Amoles	61	9	15
Global	357	20	6

Adicionalmente en una muestra representativa de muestras de sal por municipio se hizo un análisis cuantitativo del contenido de yodo. Se analizaron un total de 58 muestras, de las cuales el 72.4% cumplió con las recomendaciones de la norma oficial mexicana NOM-038-SSA2-2002, es decir, entre 20 y 40 ppm del ión yodo. Por otra parte el 19% mostró

una concentración de yodo por debajo de las 20 ppm y el 8.6% por arriba de 40 ppm dando un total de un 27.6% de muestras de sal con un contenido de yodo fuera de las recomendaciones de la norma. Los resultados concentración de yodo en la sal por municipio se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Cantidad de yodo en la sal por municipio.

Municipio	n	Promedio \pm DE (ppm)	% muestras contenido de yodo, ppm		
			< 20	20 – 40	>40
Jalpan de Serra	15	30 \pm 11.4	14.3	64.3	21.4
Landa de Matamoros	15	26 \pm 8.3	28.6	71.4	0
Pinal de Amoles	14	26 \pm 12.6	20	73.3	6.7
San Joaquín	14	32 \pm 10.6	13.3	80	6.7
Total	58	28 \pm 10.4	19	72.4	8.6

4. Madurez visomotora

Se obtuvieron 605 test gestalt de Bender contestados, se evaluó en cada uno la madurez visomotora del niño medida en años y se comparó con la edad cronológica. El puntaje utilizado para hacer los análisis es el resultado de restarle a la madurez visomotora la edad cronológica. El promedio total de la diferencia entre la madurez y la edad fue de -0.41, lo que indica que a nivel general hay un ligero retraso en el desarrollo de las capacidades visomotoras en los niños estudiados de la Sierra Gorda Queretana. No se encontraron diferencias significativas entre los municipios al aplicar la prueba de ANOVA de una sola vía (Tabla 16).

Tabla 16. Diferencia entre madurez visomotora y edad por municipio.

Municipio	n	Diferencia entre madurez visomotora y edad cronológica (Promedio ± DE)
Jalpan de Serra	149	-0.31 ± 1.6
Landa de Matamoros	154	-0.61 ± 1.6
Pinal de Amoles	150	-0.23 ± 1.9
San Joaquín	152	-0.47 ± 1.6
Total	605	-0.41 ± 1.6

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los municipios: ANOVA, $p > 0.05$

5. Diagnóstico nutricional.

Al evaluar el estado nutricional de los 606 niños a través del IMC para la edad y se observó que el 77% tuvo un peso normal, el 1% tuvo bajo peso severo, el 2% presentó bajo peso, el 12% presentó sobrepeso y el 8%, obesidad, los datos se presentan en la Figura 7.

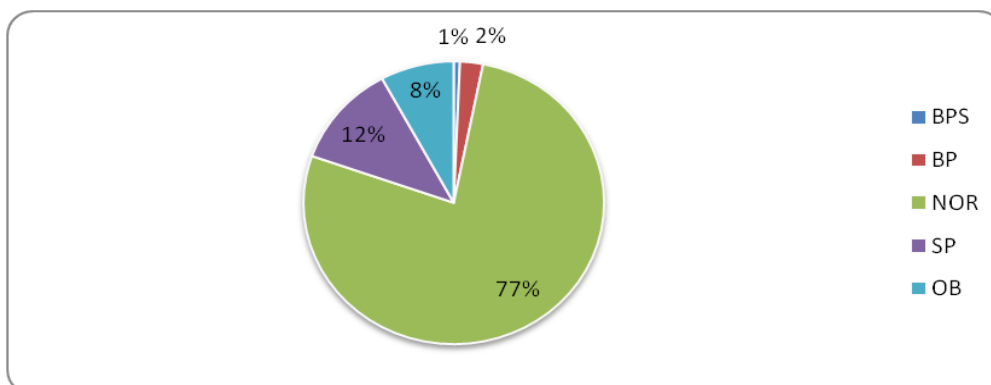


Figura 7. Estado Nutricional de los niños escolares de la Sierra Gorda Queretana. BPS= Bajo peso severo; BP = Bajo peso = NOR= Normal; SO= Sobrepeso; OB= Obesidad.

La distribución en las frecuencias del IMC mostró una ligera variación de municipio a municipio, en Landa de Matamoros hubo una mayor prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad que el resto de los municipios, pero también la mayor cantidad de casos de bajo peso severo.

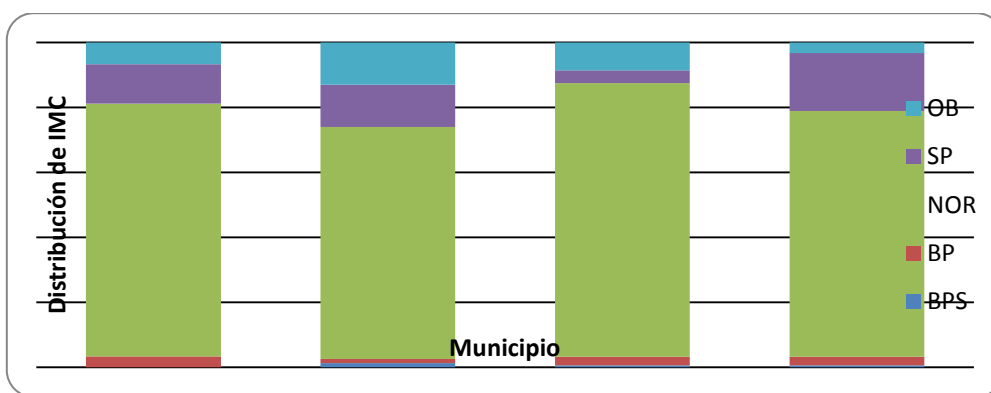


Figura 8. Distribución de IMC por municipio. OB= Obesidad; SP=Sobrepeso; NOR=Normal; BP=Bajo peso; BPS= Bajo peso severo.

Al usar el indicador de talla para la edad se obtuvo una prevalencia de talla baja de 10% para los 4 municipios estudiados, 13% para el municipio de Pinal de Amoles, 10% para Jalpan de Serra, 9% para San Joaquín y 8% para Landa de Matamoros. En la Tabla 17 se observa la prevalencia de este indicador por localidad, cabe destacar que las localidades con una prevalencia de talla baja más alta son La Yesca y Epazotes Grandes que fueron aquellas cuya mediana de yoduria indicó una insuficiencia en el consumo de yodo.

Tabla 17. Prevalencia de talla baja por localidad.

Municipio/Localidad	Prevalencia de talla baja (%)	Municipio/Localidad	Prevalencia de talla baja (%)
Pinal de Amoles		San Joaquín	
Epazotes Grandes	21	San Agustín	20
Llano de Huaxquilico	20	Nuevo San Joaquín	16
Casas Viejas	13	Apartadero	7
San Isidro	10	San Joaquín	3
Pinal de Amoles	0	San Cristóbal	0
Jalpan de Serra		Landa de Matamoros	
San Vicente	20	La Yesca	27
Jalpan de Serra	13	La Yerbabuena	6
Soledad de Guadalupe	10	Landa de Matamoros	3
Tierra Fría	4	Encino Solo	3
San Vicente	3	Otates	0

6. Correlación entre yoduria y estado nutricional global.

Se analizó la relación entre el estado nutricional de yodo con el estado nutricional general de los niños de la Sierra Gorda queretana utilizando tres modelos. En primer lugar se analizó la

correlación entre la yoduria y el IMC (n=605) utilizando la prueba no paramétrica de Spearman y se encontró una relación positiva significativa (r de Spearman = 0.2221; p <0.0001). Con la finalidad de reducir la dispersión de los datos se analizó la relación entre la yoduria y el IMC utilizando las medianas de ambas variables (n=20). Como las medianas se distribuyen de forma normal se utilizó la prueba paramétrica de Pearson y se encontró una relación positiva estadísticamente significativa (r de Pearson= 0.6119; p= 0.0021) (Figura 9). Como segundo modelo de análisis, entre la relación entre el estado nutricional en yodo y el estado nutricional global se utilizaron los estándares de referencia de la OMS para categorizar el IMC en bajo peso severo (1), bajo peso (2), normal (3), sobrepeso (4) y obesidad (5). De este modo se quitó la influencia de la edad en el análisis. El análisis de correlación se hizo usando la prueba de Spearman y se encontró una relación positiva y estadísticamente significativa (p<0.05) (Tabla 18). El tercer modelo utilizado fue la correlación de la mediana de yoduria de cada localidad y el estado nutricional y la talla baja usando la prueba de Pearson, la cual encontró una relación estadísticamente significativa pero en proporción inversa, es decir, a mayor prevalencia de talla baja era probable esperar una mediana de yoduria baja. Estas correlaciones apuntan a que hay una relación entre el consumo de alimentos y la suficiencia en la ingesta de yodo.

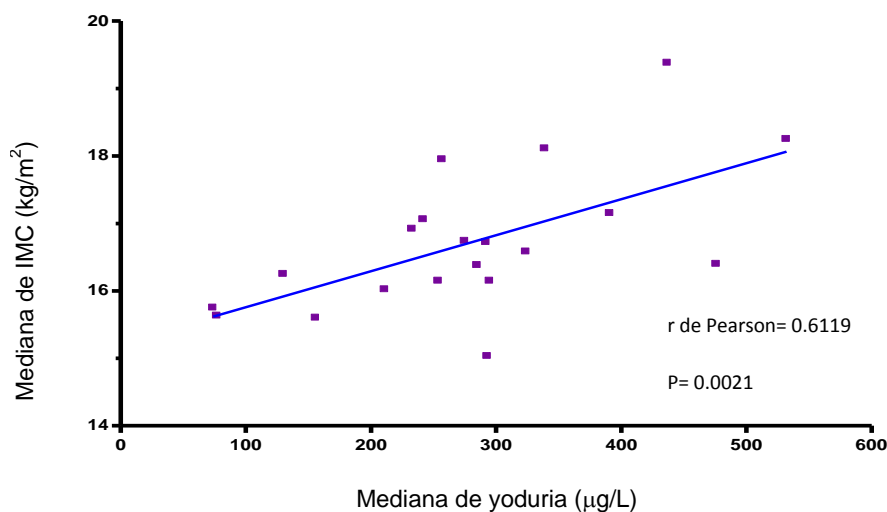


Figura 9. Correlación entre las medianas de la yoduria e IMC. Se analizó la correlación de Pearson entre las medianas de la yoduria y el IMC de las 20 localidades estudiadas., se encontró que estas dos variables guardan una correlación positiva estadísticamente significativa (p<0.05).

Tabla 18. Correlación entre el estado nutricional y la yoduria por municipio.

Municipio	N	r de Spearman	p
Jalpan de Serra	149	0.381	0.0001
Landa de Matamoros	154	0.1726	0.0323
Pinal de Amoles	150	0.2246	0.0057
San Joaquín	152	0.2584	0.0013
Global	605	0.2425	<0.001

7. Correlación entre madurez visomotora y yoduria.

Se evaluó la correlación entre la madurez visomotora y la yoduria para determinar si el estado nutricional en yodo está relacionado con la capacidad visomotora (Tabla 19). Si bien se encontró una relación estadísticamente significativa ($p < 0.05$) esta fue muy baja (r de Spearman = 0.06913).

Tabla 19. Correlación entre la yoduria y la madurez visomotora por municipio.

Municipios	N	Análisis de la correlación	
		r de Spearman	P
Jalpan de Serra	149	0.01915	0.4083
Landa de Matamoros	154	0.19690	0.0072
Pinal de Amoles	150	0.04719	0.2832
San Joaquín	152	0.0360	0.3296
Global	605	0.06912	0.0447

Se hizo un análisis de varianza entre la mediana yoduria y la madurez visomotora por categorías de las localidades que resultaron deficientes contra las que fueron suficientes en yodo y no se encontró una diferencia significativa en los valores de la madurez visomotora ($p > 0.05$).

8. Correlación entre madurez visomotora y estado nutricio general.

Se analizó la intensidad de la relación existente entre los datos de madurez visomotora y el estado nutricio a través del coeficiente de Spearman para evaluar si el estado nutricio impacta de alguna forma sobre el desarrollo de las habilidades visomotoras (Tabla 20). Se encontró una correlación positiva muy pequeña ($r=0.023$) y no significativa ($p=0.5804$).

Tabla 20. Correlación entre madurez visomotora y estado nutricio por municipio.

Municipio	N	Análisis de correlación	
		r de Spearman	P
Jalpan de Serra	149	-0.6558	0.4269
Landa de Matamoros	154	0.0047	0.9539
Pinal de Amoles	149	0.1882	0.0216
San Joaquín	152	0.0007	0.9934
Global	604	0.0225	0.5804

VII. DISCUSIÓN

La deficiencia de yodo es un problema de salud pública mundial que ha venido disminuyendo desde que se implementó la política de la yodación universal de la sal (Anderson *et al.*, 2005). Sin embargo, en México no hay datos actuales acerca de la situación del estado nutricional en yodo, el dato más reciente se obtuvo en el año 2003 en un estudio realizado en el Estado de Colima con una mediana de la yoduria de 201 $\mu\text{g/L}$ (Pineda-Lucatero *et al.*, 2008). A nivel nacional el dato más reciente se obtuvo en 1999 con una mediana estimada de 235 $\mu\text{g/L}$ (De Benoist *et al.*, 2004). En este estudio la mediana de la yoduria que se encontró fue de 271 $\mu\text{g/L}$ en los cuatro municipios lo cual supone un mayor consumo de yodo con respecto a los estudios previos pero se mantiene en la categoría de consumo de yodo por arriba de los requerimientos. Sin embargo, a pesar de lo anterior y de forma contrastante, aún existen localidades con deficiencia leve de yodo, tal es el caso de las comunidades de La Yesca (77 $\mu\text{g/L}$) en Landa de Matamoros y de Epazotes Grandes (74 $\mu\text{g/L}$) en Pinal de Amoles y solo dos comunidades con un consumo adecuado de yodo, San Agustín (130 $\mu\text{g/L}$) en San Joaquín y Casas Viejas (155 $\mu\text{g/L}$) en Pinal de Amoles. Otro aspecto que se debe resaltar es que de las 20 localidades 6 mostraron un consumo excesivo de yodo, este dato es importante ya que se han hecho diversos estudios donde se ha visto que el consumo excesivo de yodo por periodos prolongados pudiera ejercer efectos adversos a la salud como tiroiditis autoinmune (Alsayed, 2008) o agrandamiento de la glándula tiroides (Zimmermann, 2005).

La prevalencia de bocio en los 4 municipios estudiados fue del 0.5%, según los criterios establecidos en la NOM-038-SSA2-2002 y es consistente con la excreción urinaria de yodo encontrada, incluso en aquellas localidades con deficiencia leve de yodo.

En cuanto al contenido de yodo en la sal de mesa se encontró que el 19% de las muestras de sal tuvo un contenido insuficiente de yodo (<20 ppm). Comparado con el estudio realizado por Pretell *et al.* (2004) se pudo observar una mejoría ya que en dicho estudio se encontró que el 25.7% tenía un contenido de yodo por debajo de 15 ppm.

El análisis del estado nutricional general de los niños estudiados mostró una prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad de alrededor del 20%, por debajo de lo reportado por la ENSANUT 2006 a nivel nacional (26%) y similar a lo reportado por la misma encuesta para el estado de Querétaro (21.1%); sin embargo, el porcentaje de niños con bajo peso

fue menor a lo reportado en la misma encuesta ya que se encontró un 3% de presencia de bajo peso cuando la ENSANUT 2006 reportó alrededor del 10% de prevalencia.

El análisis de los test gestalt de Bender reveló que en los niños de la Sierra Gorda Queretana existe un ligero retraso en las capacidades visomotoras, ya que al ajustar los resultados por edad, encontramos una mediana de la diferencia entre la madurez visomotora y la edad cronológica de -0.44. No se presentaron diferencias significativas entre los municipios.

La correlación de las variables se interpretó como una correlación significativa (encontrada tanto de la yoduria con el IMC como con el estado nutricional y la prevalencia de talla baja) que sugiere fuertemente que el consumo elevado de yodo puede deberse a la adquisición/disponibilidad de alimentos industrializados. Es decir, a mayor sobrepeso y obesidad mayor consumo de alimentos industrializados, energéticamente densos, añadidos con sal yodada (bollería, pastelería, frituras, semillas oleaginosas fritas, caramelos y golosinas varias) y mayor yoduria. Desafortunadamente en este estudio no se indagó sobre el consumo de alimentos industrializados de los niños, tarea que queda pendiente para tratar de dilucidar plenamente la causa del alto consumo de yodo y evitar los riesgos que trae consigo esta situación. El exceso del consumo de yodo aumenta el riesgo de hipertiroidismo inducido por yodo y las enfermedades autoinmunes de la tiroides (Teng *et al.*, 2011). Por el otro lado, a menor IMC menor yoduria lo que está relacionado con una menor disponibilidad y adquisición de alimentos industrializados. Esta afirmación es acorde con el hecho de que Pinal de Amoles, es el municipio con mayor pobreza alimentaria de los 4 analizados, el municipio con la menor mediana de la yoduria y también el municipio con menor número de muestras de sal positivas a yodatos, es decir mayor presencia de sal artesanal no yodada.

La falta de correlación estadísticamente significativa entre la madurez visomotora con la yoduria y con el estado nutricional general apunta a que el test gestalt de Bender evalúa una variable del desarrollo neurológico que no sólo depende de las condiciones biológicas inherentes al individuo, sino que considera otros aspectos psicológicos que pueden afectar el desarrollo visomotor.

VII. CONCLUSIONES

En los municipios de Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Pinal de Amoles y San Joaquín hay un consumo global de yodo por arriba de los requerimientos, sin embargo a lo largo de las 20 localidades estudiadas se presentan tanto casos de deficiencia leve de yodo, como de consumo excesivo. El consumo de yodo se relacionó positivamente con el estado nutricional general de tal manera que la vigilancia del crecimiento junto con la selección y aporte adecuado de alimentos podría corregir esta situación. Se requieren más estudios para realizar recomendaciones más puntuales. Por otra parte, el hecho de que el 19% de las muestras de sal analizadas tuvieran cantidades insuficientes de yodo hace más vulnerable a la deficiencia de yodo a ciertos municipios, como Pinal de Amoles, ya que se podrían conjugar un mal estado de nutrición general, sal de mala calidad y condiciones económicas desfavorables. Por otra parte no se encontró relación entre el estado nutricional de yodo y el estado nutricional general con la maduración visomotora. Sin embargo se encontró un ligero retraso en la madurez visomotora respecto a la edad cronológica de todos los niños estudiados lo cual tendría que ser abordado en otro estudio para dilucidar la causa.

VIII. LITERATURA CITADA.

- Alsayed G, Gad AM, Abdel-Baset H, Abdel Fattah A, Azab A. 2008. Excess urinary iodine is associated with autoimmune subclinical hypothyroidism among Egyptian women. *Endocr J* 55 (3): 601-5.
- Álvarez JR. 2001. Querétaro. En: Enciclopedia de México. (XII: 6744-45). Estados Unidos: Sabecca International Investment Corporation.
- Anderson J. 2001. Minerales: Ultraoligoelementos. En: Mahan L y Escott-Stump S (Eds.) *Nutrición y Dietoterapia de Krause*. 10 ed. Filadelfia: McGraw Hill.
- Andersson M, Takkouche B, Eglin I, Allen HE, De Benoist B. 2005. Current global iodine status and progress over the last decade towards the elimination of iodine deficiency. *Bull World Health Org* 83:518-25.
- Ávila-Rosas H, Caraveo-Enríquez V, Valdés-Ramos R, Tejero-Barrera E. 2008. Evaluación del estado de nutrición. En: Casanueva E, Kaufer-Horwitz M, Pérez-Lizaur AB, Arroyo P (Eds.) *Nutriología Médica* 3ª ed. (Pp. 767-68). México: Editorial Médica Panamericana.
- Bender L. 1995. Test gúestáltico visomotor: usos y aplicaciones clínicas (B.G.). México: Editorial Paidós.
- Benoist B, McLean E, Andersson M, Rogers L. 2008. Iodine deficiency in 2007: Global progress since 2003. *Food Nutr Bull* 29:195-202.
- Benoist B, Anderson M, Egli I, Takkouche B, Allen H. 2004. Iodine status worldwide: WHO database on iodine deficiency. Ginebra: WHO.
- Berbel P, Obregón MJ, Bernal J, Escobar del Rey F, Morreale de Escobar G. 2007. Iodine supplementation during pregnancy: a public health challenge. *Trends Endocrinol Metab* 18: 338-43.
- Carrasco N. 2005. Thyroid iodine synthesis. En: Braverman L y Linger R (Eds.). *The thyroid: a fundamental and clinical text*. 9a ed. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2005. Mapas de pobreza y rezago social: Querétaro de Arteaga. México. Disponible en: <http://www.coneval.gob.mx>. Fecha de consulta: 7 de abril 2010.

- DIF-INCMNSZ-INEGI. 2006. Cuarto censo nacional de talla 2004. México: DIF-INCMNSZ.
- Dunn JT. 1996. Seven deadly sins in confronting endemic iodine deficiency, and how to avoid them. *J Clin Endocrinol Metab* 81:1332-5.
- FAO-WHO. 2004. Vitamins and minerals requirements in human nutrition. 2^{da} ed. Geneva: WHO. Disponible en: <http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/9241546123/en/index.html>
Fecha de consulta: 25 de mayo 2010.
- Food and Nutrition Board. 2001. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, zinc. National Academy of Sciences.
- Fox S. 2008. Fisiología humana. 10^a ed. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de salubridad y asistencia. 1963. Decreto por el que se declara de interés nacional la prevención del bocio en la República Mexicana. Diario Oficial de la Federación, 14 de mayo.
- Gannong W. 2004. Fisiología Médica. 19^a ed. México: Ed. Manual Moderno.
- Guyton H. 1998. Fisiología y fisiopatología. 6^a ed. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Gobierno del estado de Querétaro. 2010. Historia, estadísticas y datos generales. Mapas y municipios. Disponible en: www.queretaro.gob.mx Fecha de consulta: 9 de abril 2010.
- Hetzel BS. 2004. The nature and magnitude of the iodine deficiency disorders (IDD). En: Hetzel BS, Delange F, Dunn JT, Ling J, Mannar MV, Pandav C (Eds.), *Towards the global elimination of brain damage due to iodine deficiency*. (Pp. 1-22). Delhi: Oxford Univ Press.
- INEGI. 2005. II Censo de Población y Vivienda. Estadísticas del Estado de Querétaro. Disponible en: www.inegi.org.mx Fecha de consulta: 8 de abril 2010.
- Lara J. 1995. La Sierra Gorda. En: Enciclopedia Temática del estado de Querétaro. (I, pp. 144-56. México: UAQ – AQEH.
- Martínez-Salgado H, Castañeda-Limones R, Lechuga-Martín del Campo D, Ramos-Hernández RI, Orozco-López M, Rivera-Domarco J, Mendoza I, Magos C. 2002. Deficiencia de yodo y otros posibles bociógenos en la persistencia del bocio endémico en México. *Gac Med Mex* 108:140-56.

- Muela-Martínez JA, García-León A, Torres-Barahona R, Santiago-Fernández P, Soriguer-Escofet F. 2008. Efectos de la deficiencia de yodo sobre variables intelectuales en una población infantil. *Psicothema* 20: 279-84.
- Pineda-Lucatero A, Ávila-Jiménez L, Ramos-Hernández RI, Magos C, Martínez H. 2008. Iodine deficiency and its association with intelligence quotient in schoolchildren from Colima, Mexico. *Pub Health Nutr* 11:690-8.
- Pino S., Fang S-H, Braverman LE. 1996. Ammonium persulfate: a safe alternative oxidizing reagent for measuring urinary iodine. *Clin Chem* 42: 239-43.
- Pocock, G. Richards, C. 2002. *Fisiología Humana*. Barcelona: Masson.
- Pretell EA, Delange F, Hostalek U, Corigliano S, Barreda L, Higa A. 2004. Iodine nutrition improves in Latin America. *Thyroid* 14, 590-9.
- Quian M, Wang D, Watkins W, Gebiski V, Yan Y, Chen Z. 2005. The effects of iodine on intelligence in children: a meta-analysis of studies conducted in China. *Asia Pac J Clin Nutr* 14: 32-42.
- Rivera J, Sharjah T, Villalpando S, González T, Hernández B, Sepúlveda J. 2001. Encuesta Nacional de Nutrición, 1999. Estado nutricional de niños y mujeres en México. Cuernavaca, Morelos (México): Instituto Nacional de Salud Pública.
- Santiago-Fernández P, Torres-Barahona R, Muela-Martínez JA, Rojo-Martínez G, García-Fuentes E, Garriga MJ, *et al.* 2004. Intelligence quotient and iodine intake: a cross-sectional study in children. *J Clin Endocrinol Metab.* 89: 3851-7.
- Santisteban P. 2005. Development and anatomy of the hypothalamic-pituitary-thyroid axis. En: Braverman L and Linger R (Eds.). *The thyroid: a fundamental and clinical text*. 9a ed. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Secretaría de Salud. 1995. NOM-040-SSA1-1993 bienes y servicios. Sal yodada y sal fluorada. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial de la Federación, 29 de noviembre.
- Secretaría de Salud. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-038-SSA2-2002. Para la prevención, tratamiento y control de las enfermedades por deficiencia de yodo. Diario Oficial de la Federación, 18 de septiembre.
- Secretaría de Salud del Estado de Querétaro (SESEQ). 2008. Atención a la salud de la infancia y la adolescencia. Servicios de Salud del Estado de Querétaro.

- Solís JC, Villalobos P, Orozco A, Valverde C. 2004. Comparative kinetic characterization of rat thyroid iodotyrosine dehalogenase and iodothyrosine deiodinase type I. *J Endocrinol* 18:385-92.
- Teng X, Shan Z, Chen Y, Lai Y, Yu J, Shan L, Bai X, Li Y, Li N, Li Z, Wang S, Xing Q, Xue H, Zhu L, Hou X, Fan C, Teng W. 2011. More than adequate iodine intake may increase subclinical hypothyroidism and autoimmune thyroiditis: a cross-sectional study based on two chinese communities with different iodine intake levels. *Eur J Endocrinol*. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21444648> Fecha de consulta: 4 abril 2011.
- Unidad de Servicios para la Educación Básica en el Estado de Querétaro (USEBEQ). 2008. Directorio de escuelas en el ciclo escolar 2008-2009. Subcoordinación de Gestión Administrativa. Dirección de Planeación Educativa. Departamento de Estadística. Disponible en: <http://www.usebeq.sep.gob.mx/> Fecha de consulta: Marzo 2010.
- Velasco M. 2006. El mundo de la Sierra Gorda. *Arqueol Mex* 77: 28-37.
- WHO. 2006. Patrón de crecimiento infantil 5 a 19 años. Disponible en: http://www.who.int/growthref/who2007_bmi_for_age/en/index.html Fecha de consulta: Marzo 2010.
- WHO-UNICEF-ICCIDD. 2007. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. 3rd Edition. Ginebra: WHO.
- Zimmermann M, Hess SY, Molinar L, de Beboist B, Delange F, Braverman LE, Fujieda K, Ito Y, Moosa K, Pearce E, Pretell E, Shisshiba Y. 2004. New reference values for thyroid volume by ultrasound in iodine-sufficient schoolchildren: a World Health Organization/Nutrition for Health and Development Iodide Deficiency Study Group Report. *Am J Clin Nutr* 79: 231-7.
- Zimmermann M, Ito Y, Hess SY, Fujieda K, Molinari L. 2005. High thyroid volume in children with excess dietary iodine intakes. *Am J Clin Nutr* 81: 840-4.
- Zimmermann M. 2008. Methods to assessed iron and iodine status. *Br J Nutr* 99(Supl): S2-S9.