

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FLUORURO EN EL AGUA DE
CONSUMO HUMANO EN LAS DIFERENTES FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE
LA CABECERA MUNICIPAL DE MALACATANCITO, HUEHUETENANGO,
GUATEMALA.**

Tesis presentada por:

ESCARLETT JULISSA FLORES GARRIDO DE GONZÁLEZ

Ante el tribunal de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que
practicó el Examen General Público, previo a optar al título de:

CIRUJANA DENTISTA

Guatemala, noviembre 2008

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Decano:	Dr. Eduardo Abril Gálvez
Vocal Primero:	Dr. Sergio Armando García Piloña
Vocal Segundo:	Dr. Guillermo Alejandro Ruiz Ordóñez
Vocal Tercero:	Dr. Eduardo Benitez de León
Vocal Cuarto:	Br. Lhess Amaury Leiva Velásquez
Vocal Quinto:	Br. María Luisa Orellana Lemus
Secretaria Académica:	Dra. Cándida Luz Franco Lemus

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PÚBLICO

Decano:	Dr. Eduardo Abril Gálvez
Vocal Primero:	Dr. Sergio Armando García Piloña
Vocal Segundo:	Dr. Víctor Hugo Lima Sagastume
Vocal Tercero:	Dr. Ricardo Antonio Sánchez Ávila
Secretaria Académica.	Dra. Cándida Luz Franco Lemus

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Por estar conmigo, siendo el Señor de mi vida, manifestar su misericordia y amor, ayudarme en cada necesidad, por permitirme alcanzar esta meta y poder compartir esta bendición con mi familia.
- A LA VIRGEN MARÍA.** Por escuchar y acudir en mi auxilio en los momentos más difíciles; y por su bendita intersección constante que fue una ayuda importantísima para alcanzar esta meta, por brindarme su amor incondicional.
- A MI ESPOSO.** Allan Federico González Barrueto, por creer en mí en todo momento, por su amor incondicional que siempre me ha brindado, dándome su apoyo en los momentos alegres y difíciles, por ser la ayuda idónea que he necesitado, te amo corazón.
- A MIS PADRES.** Leonel de Jesús Flores Lucero y Olga Marina Garrido Juárez de Flores, por apoyarme y ayudarme en mis estudios y en mi vida, por sus consejos, por querer lo mejor para mí, dándome su amor y confianza, gracias los amo.
- A MIS HERMANOS.** Valter Leonel, Brenda Patricia, Sergio Osvaldo, Ehimy Licet, Yenesi Mercedes, Evelyn Lissette, Héctor Rodolfo y Marilyn Ibeth; por ese estímulo de amor fraterno y familiar que nos ha llevado por el camino de la hermandad, por el cariño, ayuda, consejos y alegrías que he recibido de ustedes. Gracias.
- A MIS SOBRINOS.** Valter Rubén, Yenesi María, Héctor Alejandro y María José, por ese amor de niño puro y sincero que me han demostrado, siendo fuente de alegría en mi hogar.

A MIS SUEGROS. Federico Arturo González Abad y Maria Angelina Barrueto de González, por abrirme las puertas de su hogar, dándome su cariño, brindándome su ayuda y consejos, gracias.

A MIS FAMILIARES: Por todo el apoyo que me han brindado, especialmente los que me brindaron su confianza siendo mis pacientes.

A MIS AMIGAS. Sandra Elizabeth Orozco y Carolina Oliva, por brindarme su amistad y momentos de alegría, por sus consejos, por alentarme y motivarme a seguir adelante. Gracias.

A MIS ASESORES: Dr. Víctor Hugo Lima y Dr. Ricardo Sánchez, por ayudarme a no darme por vencida, en los momentos en los cuales necesité de su ayuda, me brindaron su apoyo y conocimiento, guiándome en la realización de este trabajo de tesis; llevándolo a buen termino. Gracias.

A MIS CATEDRÁTICOS: Dr. Estuardo Palencia, por brindarme su amistad y confianza, por ayudarme en los momentos difíciles con su conocimiento y al Dr. Guillermo Escobar, por ayudarme a lograr mis metas, por su conocimiento y su amistad; Licda Bessie Evelyn Oliva Hernández de Sandoval y el Lic. Oswaldo Efraín Martínez Rojas por su gran ayuda y colaboración en la realización de este trabajo (Laboratorio de Investigación de la Calidad de Agua del Departamento de Análisis Inorgánico de la Escuela de Química, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala). Gracias.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Tengo el honor de someter a su consideración mi trabajo de tesis titulado: **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FLUORURO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LAS DIFERENTES FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE MALACATANCITO, HUEHUETENANGO, GUATEMALA”**, conforme lo demandan los Estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo optar al título de:

CIRUJANA DENTISTA

Quiero expresar mi agradecimiento a cada una de las personas que contribuyeron para la realización de este trabajo de investigación, a quienes brindaron su apoyo y dedicación, a quienes me motivaron a seguir adelante.

Y ustedes distinguidos miembros del Honorable Tribunal Examinador, acepten las muestras de mi más alta consideración y respeto.

ÍNDICE

	Pag.
I. SUMARIO	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
IV. JUSTIFICACIÓN	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA	5
VI. OBJETIVOS	26
VII. VARIABLES	26
VIII. METODOLOGÍA	27
IX. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	34
X. CONCLUSIONES	39
XI. RECOMENDACIONES	40
XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
XIII. ANEXOS	45

I. SUMARIO

El propósito de esta investigación fue el de determinar la concentración de fluoruro en las principales fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango. Ya que se concluyó que los pobladores de dicho municipio presentan signos de intoxicación crónica de flúor, esta aseveración se estableció por medio de una investigación realizada por la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y utilizó la clasificación de Dean, para determinar el nivel de fluorosis dental. En dicho estudio se examinaron a los escolares de nivel primario de los dos centros educativos de dicho municipio. El índice de Dean dio un valor de 1.84, este resultado corresponde a los niveles de fluorosis dental, de leve a moderada ⁽²¹⁾.

En la presente investigación se examinaron 23 muestras de agua provenientes de las principales fuentes de abastecimiento de agua para el consumo, entre los cuales encontramos: pozos artesanales, chorros domiciliarios y nacimientos de agua. Para realizar el análisis de las muestras de agua se utilizó el potenciómetro Termo Orión 720 y el electrodo de combinación de fluoruro. Las muestras se analizaron en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, en el área del Laboratorio de Investigación de la Calidad del Agua del Departamento de Análisis Inorgánico de la Escuela de Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La concentración de fluoruro encontrada en las diferentes fuentes de abastecimiento fue diversa. La concentración varió entre 0.35 mg/l a 11.90 mg/l.

En la República de Guatemala se han realizado estudios de fluorosis dental en el área nororiente del país y se determinó que la concentración de fluoruro oscila entre 2 mg/l a 8 mg/l ⁽²⁷⁾, presentando casos de fluorosis leve, moderado y severo. Así mismo los efectos sistémicos de intoxicación crónica puede observarse como osteoesclerosis (limitación de los movimientos). Por lo que es recomendable establecer el grado de intoxicación crónica en la estructura esquelética de los habitantes de la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango, ya que la concentración de fluoruro encontrada es mucho mayor a las establecidas con anterioridad en el país.

II. INTRODUCCIÓN

El flúor es utilizado en la Odontología principalmente para contribuir a prevenir lesiones de caries dental. Este elemento hace más resistente al esmalte y contribuye a disminuir su solubilidad en un medio ácido. Una de las maneras en que se puede consumir flúor en bajas concentraciones diariamente es en el agua, este es un método sistémico que además produce un efecto tópico. La dosis óptima en que se debe consumir el flúor para que tenga un efecto cariostático es aproximadamente de 1 mg/l (ppm), cuando se ingiere una cantidad mayor por un tiempo prolongado produce un efecto tóxico, como lo es la fluorosis dental y la fluorosis esquelética,

La Facultad de Odontología ha realizado investigaciones sobre la concentración de fluoruro en el agua de bebida de la República de Guatemala, los resultados obtenidos demostraron que era deficiente la concentración del mismo en el agua del país, a excepción del área nororiente (El Progreso, Zacapa e Izabal). En esta región se podrían encontrar hallazgos de fluorosis dental.

En esta investigación se analizaron las diferentes fuentes de abastecimiento de agua de consumo humano en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango. Se determinó que existe una concentración supraóptima de fluoruro en el agua de bebida, por lo que se confirma que existe el trastorno de fluorosis dental en dicha región.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Facultad de Odontología ha realizado investigaciones sobre la concentración de fluoruro en las principales fuentes de agua de consumo de las cabeceras municipales y poblados principales de la República de Guatemala ⁽¹⁴⁾, para determinar la concentración real del mismo. Estas concentraciones son variables de región a región y así como en las distintas épocas del año. El resultado de estas investigaciones fue, que la concentración de fluoruro en el agua es deficiente (0.00 a 0.30 mg/l), exceptuando el área nororiente del país que contiene la concentración de fluoruro de óptima (0.60 – 1.00 ppm) o supraóptima (1.01 – 6.0ppm) ⁽¹⁴⁾.

Actualmente se ha detectado fluorosis dental en el área noroccidente del país, específicamente en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango. Se realizó una investigación sobre la prevalencia de fluorosis dental en dicho municipio y se estableció que más de la mitad de los escolares de nivel primario padecían de dicho trastorno ⁽²¹⁾, Este trastorno se observa en áreas geográficas cuya población regularmente ingiere agua que contiene alta concentración de fluoruro, durante un largo tiempo. Por lo que con la presente investigación se pretende establecer si existe una concentración supraóptima de fluoruro en las diferentes fuentes de abastecimiento de agua de consumo de dicho municipio que contribuya al trastorno de fluorosis dental en esta región.

VI. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se consideró pertinente realizar debido a que en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango (área noroccidente) se han reportado casos de fluorosis dental en sus pobladores ⁽²¹⁾. La Facultad de Odontología realizó anteriormente un estudio sobre la concentración de fluoruro en el agua de consumo de los municipios del departamento de Huehuetenango y determinó que la concentración del mismo era deficiente en esa región ⁽⁶⁾. Por lo que se consideró necesario determinar ¿cuál es la concentración de fluoruro en las diferentes fuentes de abastecimiento de agua de consumo?, así como determinar ¿cuál es la concentración supraóptima y su ubicación?

Los resultados obtenidos en esta investigación ayudarán a las autoridades de este municipio a tomar medidas de prevención y realizar tratamiento restaurativo a los habitantes afectados por este trastorno hipoplásico. Además se debe buscar un método de defluoruración del agua accesible para sus habitantes, como filtros de piedra pómez o si fuera necesario encontrar otra fuente de abastecimiento de agua potable.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Antecedentes

En la República de Guatemala entre los años 1984 y 1987 los Doctores M. Gonzáles, R. Sánchez, L. Villacorta, catedráticos de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos, con la ayuda de estudiantes del último año de la carrera, realizaron investigaciones para determinar la concentración natural de fluoruro en las principales fuentes de agua de bebida de las cabeceras municipales y poblados principales ⁽¹⁴⁾.

Observaron que las concentraciones de fluoruro en el agua de bebida en Guatemala eran variables en las diferentes regiones y distintas en invierno y verano. La mayoría de las fuentes estudiadas se encontraron con una concentración de fluoruro que varía de 0.00 a 0.30 mg/l, resultado que indica una concentración deficiente de fluoruro en el agua de bebida del país, ya que la ingesta diaria para una dosis óptima debiera ser alrededor de 1 mg/l ⁽¹⁴⁾.

Algunas fuentes de agua localizadas en el área nororiente del país proveen agua que contiene fluoruro en una concentración óptima o supraóptima constante, estas regiones son: Estanzuela, Huité, San Jorge y San Juan (Zacapa), Sanarate, Agua Salóbrega y San Agustín Acasaguastlán (El Progreso), Los Amates, Morales y Quiriguá (Izabal). Estos tres últimos lugares en particular se han asociado últimamente con hallazgos de fluorosis dental, en ellas se ha detectado las concentraciones más altas de fluoruro encontradas hasta la fecha en Guatemala. Esta variabilidad de fluoruro, puede deberse a que en esta zona se encuentran yacimientos de fluorita o fluoruro de calcio que aporta fluoruro a través del ciclo natural del agua. Además de los lugares mencionados se han encontrados otros cuya concentración de fluoruro en el agua alcanzan valores importantes pero subóptimos. Estos se encuentran dispersos y no cercanos a otras fuentes de agua fluoruradas en forma natural. Así, se han encontrado concentraciones importantes de fluoruro en un nacimiento de agua de Tukurú (Alta Verapaz), en el chorro de agua municipal de Nueva Concepción (Escuintla), en el chorro de agua municipal de Cubulco (Baja Verapaz), en el chorro de agua municipal de Sayaxché (Petén), en un pozo de San José del Golfo (Guatemala), en el chorro de agua municipal de Malacatancito (Huehuetenango), en el chorro de agua municipal de Ciudad Vieja (Sacatepéquez),

en el pozo de Finca Quixayá (San Lucas Tolimán, Sololá), en el agua del Lago de Santiago Atitlán (Sololá), y en la capital de Guatemala ⁽¹⁴⁾.

Los hallazgos de este estudio permiten concluir que las aguas del país son deficientes en la concentración de fluoruro y que sólo algunos pocos poblados dispersos cuentan con agua que contiene concentraciones aproximadamente aceptables de fluoruro en forma natural ⁽¹⁴⁾.

A continuación se desarrollarán temas que ayudarán a comprender en donde se puede encontrar el fluoruro, como se metaboliza el mismo en el organismo, y su principal vía de excreción. Además se explicarán los efectos benéficos del fluoruro cuando se administra en una dosis óptima aproximadamente 1 mg/l (ppm) y sus efectos tóxicos cuando se ingiere en una dosis mayor de 1 ppm diaria, en un período corto y largo de tiempo. Los principales métodos utilizados para medir la concentración de fluoruro en agua se explican brevemente.

El flúor no se encuentra en la naturaleza en forma de flúor elemental, se encuentra combinado en forma de fluoruro. Entre los compuestos fluorurados encontramos los compuestos inorgánicos y los compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos naturales no son utilizados por el hombre por su toxicidad. El flúor se encuentra abundantemente en la corteza terrestre, por lo que se encuentran grandes cantidades de fluoruro en el agua de mar, en numerosas fuentes de agua potable, en los yacimientos minerales de espato flúor, criolita y fluoroapatita. Las principales fuentes de flúor de interés en la fisiología humana son: el agua, ciertas especies vegetales y ciertos animales marinos comestibles ⁽¹⁾.

El agua que utiliza el hombre para sus necesidades personales nunca es pura, contiene concentraciones más o menos elevadas de numerosas sustancias disueltas o en suspensión como: el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio y los fluoruros. Los efectos de los fluoruros sobre la salud humana se deben en gran parte de la presencia de éstos en el agua de bebida. El fluoruro que se encuentra presente en el agua de consumo humano tiene varios orígenes. Estos fluoruros pueden provenir del agua de mar, de la atmósfera y de la corteza terrestre (rocas y del suelo) ⁽¹⁾.

El *mar* se puede considerar como el punto de partida del ciclo hidrológico, el cual provee la mayor parte de agua que dispone el hombre. El agua de mar contiene cantidades de fluoruro entre 0.8 a 1.4 ppm, éste y otros halógenos pasan del mar a la atmósfera en cantidades apreciables para incorporarse finalmente a las precipitaciones ⁽¹⁾.

También hay otros orígenes de los fluoruros en la *atmósfera* como: polvos procedentes de suelos fluorurados, humos industriales, incineración del carbón en las zonas habitadas, y emanaciones de gas en las regiones volcánicas. Estos contribuyen a elevar la concentración de fluoruro en las precipitaciones ⁽¹⁾.

Ahora bien, la cantidad de fluoruros que ingresan en el agua, bien directamente a partir del agua del mar, bien indirectamente a través de la contaminación atmosférica, es muy pequeña en comparación con la resultante de la lixiviación de las rocas y de los suelos de la *corteza terrestre* ⁽¹⁾.

El flúor presente en las rocas y en los suelos puede formar parte de una amplia gama de minerales: fluorita, apatito, micas, hornblenda y ciertas pegmatitas (topacio y turmalina). Por lo general los fluoruros se encuentran en forma de fluorita o espato flúor. El apatito es un mineral que contiene flúor, y es muy frecuente en todas las rocas ígneas ⁽¹⁾.

Cuando hay una erupción volcánica sale a la superficie lava, que al enfriarse se convierte en roca volcánica. Pero cuando esta lava no sale a la superficie se llama magma, y este magma al enfriarse puede diferenciarse en: rocas ígneas y rocas plutónicas. Cuando en las rocas ígneas hay cambio de minerales por alta temperatura o alta presión se convierte en rocas metamórficas. Y la principal roca plutónica es el granito ⁽²⁸⁾. Esta breve explicación es importante ya que se han analizado muestras procedentes de estas rocas y los análisis revelan concentraciones altas de fluoruro en las mismas, como por ejemplo en las rocas ígneas el contenido de fluoruro es de 13 500 a 26 000 ppm, en la roca plutónica la concentración de fluoruro oscila entre 20 y 4 000 ppm, y en el granito se encontró una concentración del mismo de 20 a 2 300 ppm. Estudios realizados sobre el contenido de flúor en las rocas volcánicas indican que la concentración de éste oscila entre 80 y 2 500 ppm ⁽¹⁾.

El municipio de Malacatancito, Huehuetenango se encuentra ubicado geológicamente entre tierras altas cristalinas y tierras altas volcánicas. Las tierras altas cristalinas contienen varios tipos de rocas, entre las que mencionaremos las rocas metamórficas y las rocas plutónicas (principalmente el granito). En las tierras altas volcánicas encontramos principalmente rocas ígneas ⁽⁹⁾. Ver anexos.

Entre los minerales fluorurados con valor comercial encontramos la fluorita o espato flúor, criolita y el fluoroapatito. La criolita (fluoruro de sodio y aluminio) es el mineral preferido por su bajo punto de fusión y su temperatura de descomposición también baja ⁽¹⁾.

En los suelos se ha observado que en la mayoría de los casos la concentración de fluoruro aumenta a medida que se profundiza. En el agua superficial o subterránea el contenido de flúor depende de una gran variedad de factores entre los que destacan la existencia de minerales fluorurados en contacto con el agua, el grado de solubilidad de estos, la porosidad de las rocas y de los suelos por los que circula el agua, la velocidad de la corriente, la temperatura a la que se produce la integración entre el agua y las rocas. La concentración de flúor suelen ser más altas en las aguas alcalinas y en las aguas que tienen una temperatura elevada (zonas de actividad volcánica) (1).

La cantidad de fluoruro ingerida en el agua depende de dos factores: del consumo diario de agua y de la cantidad de fluoruro que contiene ésta. Asimismo la cantidad de agua ingerida aumenta cuando aumenta la temperatura de la región.

El fluoruro además de encontrarse en el agua, se puede encontrar en los alimentos. Es de gran importancia que los alimentos con contenido de fluoruro se sumen al aportado por el agua fluorurada y a los dentífricos fluorurados, ya que pueden tener efectos tanto útiles como perjudiciales. Entre los alimentos que contienen concentraciones relativamente altas de fluoruros tenemos: el pescado, el té y algunos vinos.

Otra forma de ingerir el flúor es por medio de los medicamentos fluorurados, existe una gran variedad de preparaciones comerciales que tienen un fin profiláctico contra la caries dental, asimismo éstos están hechos para utilizar metabolitamente el ión fluoruro. Entre estos medicamentos encontramos comprimidos y tabletas de fluoruro, suplementos de fluoruro y vitaminas, suplementos de fluoruro y sales minerales (tabletas prenatales), dentífricos fluorurados, goma de mascar fluorurada y colutoros fluorurados. Estos medicamentos parecen tener cierta eficacia para reducir la frecuencia de la caries dental. Y se han realizado estudios sobre la absorción y la excreción de los mismos subsiguientes a la ingestión diaria de fluoruro en las diversas presentaciones en adultos jóvenes y en niños, y por lo menos del 90 al 60 % del fluoruro ingerido puede ser metabolizado por el organismo humano, el fluoruro se absorbe rápidamente en el conducto gastrointestinal y se excreta al poco tiempo por la orina, donde en las 12 horas siguientes a la ingestión puede encontrarse por lo menos el 75 % del fluoruro eliminado por esa vía (1).

Asimismo hay medicamentos empleados con fines distintos a la carioprofilaxis que contienen fluoruro, como insensibilizadores de la dentina, tratamiento de la osteoporosis y de otros

trastornos afines del metabolismo esquelético (enfermedad de Páger), corticosteroides fluorurados y anestésicos fluorurados. Y se concluye que los medicamentos insensibilizadores de la dentina y el tratamiento de la osteoporosis, se necesita estudiar más a fondo el metabolismo del fluoruro en el organismo humano. En los medicamentos con corticosteroides fluorurados y anestésicos fluorurados el flúor no se metaboliza en el organismo humano por el enlace flúor-carbono ⁽¹⁾.

2. El Flúor

El flúor pertenece a la familia de los halógenos, así como el cloro, el bromo y el yodo, éstos están presentes como sales en el agua de mar. Los halógenos son todos químicamente activos, se combinan con la mayor parte de los metales y con el hidrógeno, para formar compuestos binarios denominados haluros (fluoruro, cloruro, bromuro, yoduro) ⁽²³⁾. Éste no se combina con el oxígeno y con el platino ^(2,4,23).

El flúor representa alrededor de 0.06 a 0.09% de la corteza terrestre ^(23,30). Es uno de los elementos más abundantes, que ocupa el decimoséptimo lugar entre el total de los elementos ⁽⁸⁾. Su forma natural es de un gas, de color verde amarillento, a temperatura natural ^(2,5,23) entre sus características químicas encontramos que su número atómico es 9, su peso atómico es 19 y su peso molecular es 38.

Es el más electronegativo de todos los elementos y, además de poseer notables cualidades químicas, también posee fisiológicas de importancia para la salud y el bienestar del hombre. Por su comportamiento químico el ión fluoruro es fisiológicamente el más activo de todos los iones ⁽²⁾. Entre las principales fuentes de fluoruro de interés en la fisiología humana figura: el agua ⁽²⁾.

El fluoruro se encuentra ampliamente distribuido en diferentes concentraciones en el suelo, el agua y las plantas. Los fluoruros atmosféricos son derivados de la manufactura de algunos compuestos metálicos y de la combustión del carbón de hulla ^(8,30).

El fluorospato o fluorita (CaF₂), es el fluoruro natural más común; está compuesto por minerales como apatita, mica, topacio y criolita. Cuando en estos minerales encontrados en las rocas y en el suelo se filtra agua, el compuesto fluoruro se disocia, originando tres iones de fluoruro libres (F⁻). Las aguas superficiales, en la mayoría de las veces, tienden a poseer bajas cantidades de

fluoruros, en tanto que las subterráneas, como las de manantiales, ríos y pozos, en íntimo contacto con rocas con alto contenido de fluoruro, lo contienen en grandes cantidades ⁽⁸⁾.

En las altas regiones montañosas el contenido de fluoruro en el suelo suele ser relativamente pequeño debido a la erosión constante que se lleva los fluoruros, así como sucede con los otros halógenos, a mesetas inferiores o al océano a través de los ríos por lo que el contenido del mismo es relativamente alto en el agua marina (1 a 1.5 mg/l) ⁽³⁰⁾.

Las aguas con un contenido elevado de fluoruro se hallan por lo general al pie de altas montañas y en regiones con sedimentos geológicos de origen marino. La más alta concentración de fluoruro hallada en el agua se registró en el lago Nakuro en el Valle del Rift, en Kenya con 2.800 mg/l.

Ya que el fluoruro es tan común en la naturaleza, el hombre lo ingiere en cantidades variables a partir de plantas, animales y bebidas. Además, el contenido de fluoruro en la comida depende de su concentración en el agua con que se prepara ⁽⁸⁾.

3. Clasificación de los fluoruros

Se conocen en general dos tipos de fluoruros:

- Orgánicos: Fluoracetatos, fluorfosfatos y fluorcarbonos
- Inorgánicos: Solubles, insolubles e inertes

De los fluoruros orgánicos los únicos que se producen en la naturaleza son los fluoracetatos, éstos ejercen su acción tóxica al inhibir el ciclo del ácido cítrico por lo que las estructuras orgánicas atacadas con mayor gravedad son el corazón y el sistema nervioso central, por la inhibición general del metabolismo de energía oxidativa y se utilizan para rodenticidas ⁽¹⁵⁾.

Los fluoruros orgánicos más tóxicos son los fluoracetatos y los fluorfosfatos. Los fluorcarbonos son inertes, tienen baja toxicidad en virtud de las uniones fluor-carbono, un ejemplo son los freones (CCl₂F₂) que se usan como refrigerantes e impelentes para aerosoles, además los fluorocarbonos se

usan como lubricantes químicos resistentes ⁽²²⁾. Por lo tanto, ninguno de los fluoruros orgánicos se emplea en fluoruración ⁽⁵⁾.

Entre los fluoruros inorgánicos solubles se encuentran: el fluoruro de sodio (utilizado en dentífricos) ⁽⁸⁾, y el fluorsilicato de sodio (utilizado en agua) se ionizan casi completamente y son por lo tanto fuentes de flúor metabólicamente activa ⁽³⁰⁾.

El fluoruro de calcio es un ejemplo de fluoruro inorgánico poco soluble ⁽¹⁰⁾.

Los compuestos inorgánicos inertes son tan estables que no liberan iones fluoruros, por lo tanto la absorción es nula (el KBF_4 , por ejemplo, se elimina totalmente por la orina y las heces) ⁽¹⁾.

La toxicidad aguda de los fluoruros inorgánicos puede expresarse por la dosis letal aguda que es de 5 a 10 gramos de fluoruro de sodio en un adulto ^(8,30).

4. Metabolismo del fluoruro

El metabolismo del fluoruro se refiere a su absorción, distribución y excreción en el organismo humano.

Después de su ingestión la mayor parte de los compuestos fluorurados solubles en el agua son absorbidos rápida y casi completamente en el estómago, así como en el intestino delgado ⁽⁵⁾. La concentración máxima de fluoruros en el plasma sanguíneo consecutiva a su ingestión por vía oral en ayunas se alcanza dentro de los 30 minutos siguientes. La rapidez con que el fluoruro se absorbe en la sangre y se distribuye por el organismo muestra que en la absorción no interviene ningún sistema de transporte activo; así pues, cabe suponer que se trata de un simple proceso de difusión normal ⁽¹⁾. La absorción de las preparaciones dentales fluoruradas en el organismo, es del 100%, pero si se ingiere con productos lácteos la absorción del fluoruro se reduce hasta el 60 ó 70% aproximadamente, esto podría deberse a la coagulación de la leche en el estómago y a una difusión incompleta de los fluoruros ^(1,30).

La sangre humana contiene fluoruro tanto en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos. Casi todos los fluoruros en el plasma se encuentran en forma de iones y no están combinados con

ninguna macromolécula. El tiempo en que los fluoruros permanecen en el plasma sanguíneo es de 4 a 10 horas ⁽³⁰⁾, antes de ser excretados. Una vez absorbido, el fluoruro es distribuido en pocos minutos a través del líquido extracelular hasta la mayor parte de órganos y tejidos. La concentración de fluoruros en los tejidos blandos es inferior a su nivel en plasma, en éste la concentración de fluoruro es de 0.15 ppm o menos ^(5,18). Los niveles en los tejidos blandos, a excepción del aparato gastrointestinal y los riñones, permanecen normales o casi normales aún cuando haya fluorosis crónica leve, o cuando el esqueleto esté casi a punto de saturación ⁽⁵⁾. El fluoruro atraviesa la placenta y su nivel en la sangre del feto es aproximadamente un 75% del de la sangre materna ⁽³⁰⁾.

También se ha encontrado que sujetos humanos con bajo nivel nutritivo, con un consumo bajo de calcio, son más susceptibles a tener esmalte manchado que aquellos sujetos bien alimentados, recibiendo niveles similares de fluoruro en su agua ⁽⁵⁾. Esto debido a que el calcio puede reducir la absorción de fluoruro de dos formas: En primer lugar: precipitando el fluoruro de calcio, un exceso de calcio por medio de un efecto de ión común, reduciría grandemente la concentración de fluoruro. En segundo lugar: Si las condiciones favorecen la precipitación de fosfato de calcio en los intestinos, dada que esta sustancia tiende a ligar el fluoruro aún en concentraciones bajas, puede llevar al fluoruro con ella a las heces.

Wagner y Muhller (1960) observaron que el calcio y el fosfato juntos, al ser consumidos, reducían la absorción de fluoruro más que el calcio por sí solo. Cuando el calcio y el fosfato fueron administrados 15 minutos después que el fluoruro, su efecto en la reducción del fluoruro fue menor, y éste fue absorbido más rápidamente ⁽⁵⁾.

La vía renal es la principal vía de excreción de fluoruro. Por lo general en un adulto el 40-60% de la dosis de fluoruro se encuentra en la orina. Este porcentaje puede variar mucho, pues está influido por el grado de fijación del flúor en los huesos y dientes, además está determinado por la edad del sujeto. En los dientes en desarrollo y los huesos en crecimiento, es mayor la concentración de fluoruro ⁽⁸⁾. Su distribución en los huesos no es uniforme, es decir que en el hueso, las superficies endoteliales y periostáticas generalmente tienen una mayor concentración que las partes centrales del hueso compacto ⁽⁵⁾. En un niño la retención de este compuesto será muy superior que en un adulto ⁽³⁰⁾.

El fluoruro es excretado del plasma por medio de la saliva, jugos digestivos, leche, pero la concentración en estas formas mencionadas, es más baja que la del plasma. La transpiración

secunda únicamente a la orina como una vía de excreción, y es responsable del 15 al 50% de la cantidad total excretada cuando la sudoración es excesiva ^(5,8).

Desde el punto de vista dental, el sistema de incorporación del flúor al material mineralizado de los dientes, el esmalte, es particularmente importante, ya que puede modificar el tamaño y la morfología de los dientes. Los dientes son más pequeños (se reducen los puntos de contacto y las zonas de retención de alimentos disminuye), las fisuras poco profundas y anchas, las cúspides son más bajas y aplanadas y presentan un brillo notable de tonalidad más amarillenta que azulada ⁽¹⁾. Además el esmalte es más resistente a la acción de los ácidos que se producen durante el proceso de la caries dental ⁽⁸⁾. La presencia de flúor en la saliva tiene una marcada influencia protectora contra la susceptibilidad de los dientes a las lesiones de caries dental en su proceso de erupción ⁽⁵⁾.

5. Composición química y estructura de los tejidos mineralizados

Los tejidos mineralizados del cuerpo difieren de otros tejidos por su dureza, resultado de la impregnación de la matriz orgánica con sales inorgánicas de fosfato de calcio. Su composición varía grandemente, tanto de una persona a otra, como en las diferentes partes de un organismo. Aproximadamente 50 a 70% del hueso y de la dentina, así como el 96 % del esmalte dental consiste en material inorgánico en base a su peso. El prototipo del material inorgánico de estos tejidos es hidroxiapatita, cuya composición química ideal es $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. El componente principal de la fracción orgánica de los tejidos derivados del mesodermo es colágeno, seguida de proteína soluble, mucoproteína, lípidos, péptidos y otras sustancias en menor cantidad. El esmalte es de origen ectodérmico, difiere considerablemente de estos tejidos en su composición orgánica ya que posee como componente principal queratina ⁽⁷⁾.

Se ha demostrado que la superficie del esmalte es más resistente a la disolución por ácido, lo cual ha sido relacionado con la alta densidad del material mineral y a la presencia de una alta concentración de fluoruro sobre la superficie ⁽⁷⁾.

El mecanismo por el que el fluoruro previene la caries es por que el ión fluoruro (F^-) puede reemplazar al ión hidroxilo (OH^-) de la hidroxiapatita, la principal estructura cristalina del esmalte. Este cristal, llamado fluorapatita, es más resistente a los ácidos, como los producidos por la placa

bacteriana, que la hidroxiapatita original. El fluoruro puede inhibir la producción ácida enzimática de la placa bacteriana ⁽⁸⁾.

Los efectos cariostáticos del fluoruro pueden deberse a la formación de una apatita de mayor tamaño, más cercana a la composición química ideal, menos impura y más estable al disminuir la tasa de reactividad química, lo cual la hace más resistente a la disolución por ácido de la caries dental. Al aumentar el contenido de fluoruro en el esmalte, hay una baja en el contenido de magnesio, sodio y carbonato. Estos iones han demostrado ser minerales más solubles que los minerales apatíticos bien cristalinizados y se han propuesto que son selectivamente perdidos durante el ataque inicial de caries. El mecanismo de incorporación de fluoruro por el esmalte, a nivel exterior, se ha comprobado que es por procesos de difusión ⁽⁷⁾, ya que no participa ningún mecanismo activo de transporte ⁽²³⁾.

La incorporación del fluoruro a los tejidos duros en estado pre-eruptivo, está íntimamente ligada a todas las fases de formación de la corona ⁽⁵⁾.

El desarrollo de los dientes está dado por el ciclo vital que comprende tres estadios que se explican a continuación ⁽²⁰⁾:

- Estadio inicial (en yema): en el embrión de 6 semanas aparecen los primeros esbozos dentales. En la cavidad oral, las células de la capa basal de la epidermis proliferan con mayor rapidez que las células adyacentes, originando un engrosamiento epitelial en la región de la futura arcada dental, que se extiende a lo largo de todo el borde libre de la mandíbula. Este fenómeno recibe el nombre de *fase primordial de la porción ectodérmica de los dientes*, y su resultado es la *lámina dental*. Estas células proliferativas contienen todo el potencial de crecimiento del diente. Los molares permanentes se originan de la lámina dental, los incisivos, los caninos y los premolares permanentes se desarrollan a partir de las yemas de sus predecesores temporales (los temporales se originan de la lámina dental).
- Estadio de proliferación (en casquete): durante este estadio continúa esta proliferación celular. Debido a un crecimiento desigual en las distintas partes de una yema, se forma una especie de casquete y, así mismo, aparece una invaginación superficial en la parte profunda de aquella. Las células periféricas de este casquete son las que luego originarán el epitelio externo e interno del esmalte.

- Estadio de diferenciación histológica y morfológica (en campana): el epitelio continúa invaginándose y avanzando en profundidad hasta que el órgano del esmalte adopta una forma acampanada. Es precisamente durante este estadio cuando las células de la papila dental se diferencian en *odontoblastos*, y las células de la capa interna del epitelio del esmalte se diferencian en *ameloblastos*. La diferenciación histológica marca el final del estadio de proliferación a medida que las células pierden la capacidad para multiplicarse. Este estadio precede inmediatamente a la actividad de aposición. Los trastornos en la diferenciación de las células formadoras del germen dental son la causa de una dentina o esmalte de estructura anormal. Un ejemplo clínico de diferenciación anómala de los ameloblastos es la *amelogénesis imperfecta*. Cuando los odontoblastos no se diferencian correctamente y la estructura de la dentina es anormal, aparece la *dentinogénesis imperfecta*. En el estadio de diferenciación morfológica, las células se disponen configurando la forma y el tamaño que tendrán posteriormente los dientes, proceso que ocurre antes del depósito de la matriz.

El crecimiento por aposición es el resultado del depósito a modo de capas de una secreción extracelular no vital que forma una matriz de tejido. Ésta se deposita sobre las células formativas, los ameloblastos y los odontoblastos, que tapizan lo que será la futura unión dentina-esmalte, y la unión dentinocementaria en el estadio de diferenciación morfológica. Estas células depositan la matriz de dentina y el esmalte siguiendo un patrón y una velocidad definidos. Tan pronto como finalizan la unión dentina-esmalte, las células formativas inician su función en unas localizaciones específicas conocidas como centros de crecimiento. Cualquier trastorno sistémico o alteración local que produzca una lesión de los ameloblastos durante la formación del esmalte puede causar un paro o una interrupción del proceso de aposición en la matriz, con la consiguiente *hipoplasia del esmalte*. La hipoplasia de la dentina es menos frecuente que la del esmalte, y se observa sólo después de trastornos sistémicos graves ⁽²⁰⁾.

La calcificación (mineralización) ocurre después del depósito de la matriz y consiste en la precipitación, dentro de ésta, de sales de calcio inorgánico. El proceso comienza con la precipitación de un nido de pequeño tamaño, alrededor del cual se acumula luego más calcio, que aumenta de volumen con la superposición de nuevas láminas concéntricas. Al final, estas esferas de calcio se aproximan y se fusionan, y forman una capa de matriz mística mineralizada de modo homogéneo ⁽²⁰⁾.

Durante la formación de la matriz del esmalte (etapa de aposición) y durante la mineralización (etapa de calcificación), el contenido de fluoruro es de 60 ppm en el esmalte en zonas donde no hay suficiente concentración de fluoruro en el agua (menos de 1ppm) mientras que si el agua está fluorurada con una concentración óptima (1.0 ppm) la incorporación de fluoruro en el esmalte llega hasta el 100 ppm. Es durante este período (de aposición) donde pueden producirse los defectos del esmalte que caracterizan a la fluorosis, que se debe a la acción del exceso de flúor sobre los ameloblastos, y que son éstas las células del organismo más sensibles a este ión, cuyas concentraciones excesivas pueden tener un efecto tóxico sobre ellas inhibiendo su acción ⁽⁵⁾.

Las concentraciones superficiales de fluoruro varían y son más bajas en los dientes primarios que en los permanentes. La concentración baja de fluoruro en los dientes primarios se debe a que la diferenciación morfológica y el comienzo de la mineralización ocurren en el feto, la ingestión de fluoruro que se considera óptima para la madre se encuentra sólo en el límite de eficacia para éste ⁽¹⁾. Además la importancia del agua potable como una fuente de obtención del fluoruro, está demostrado. Está comprobado que al consumir fluoruro en el agua de bebida, aproximadamente a los 30 minutos después de su ingestión se encuentra una concentración en el plasma estrechamente relacionada con la concentración presente en el agua ⁽⁵⁾.

También se debe tener en cuenta la incorporación del flúor en la fase eruptiva, cuando los dientes ya han entrado en contacto con el medio externo. El fluoruro necesario para este enriquecimiento, proviene en forma natural de la saliva ⁽²⁰⁾ y del agua; puede ser aplicado también en forma exógena por medio de las topificaciones, enjuagatorios, y dentífricos fluorurados ⁽⁵⁾.

La adquisición fisiológica post-eruptiva de fluoruro por el esmalte es de pequeña magnitud, excepto quizá durante el comienzo del estado post-eruptivo. Evidentemente, los dientes recién erupcionados, reaccionan más al fluoruro que los ya erupcionados ⁽⁵⁾.

El esmalte maduro parece adquirir poco o nada de fluoruro del medio ambiente bucal natural, ya que cuando se pierde la superficie del esmalte por abrasión, el nivel de la superficie rica en fluoruro, no es compensado por la incorporación post-eruptiva aún en dientes de áreas con elevada concentración de fluoruros en el agua de consumo ⁽⁵⁾.

El esmalte en el ambiente bucal está en un equilibrio dinámico con la saliva y los fluidos de la placa y, sufre pequeñas ganancias y pérdidas de mineral casi constantemente. Cuando las condiciones favorecen la pérdida de mineral, p.e. un pH bajo, ocurre la formación de erosión o

caries y, cuando las condiciones favorecen la ganancia de mineral, ocurre la remineralización. Un cambio excesivo en el equilibrio hacia la ganancia mineral actualmente favorece la formación de cálculos ⁽¹⁹⁾.

La solución remineralizante natural es la saliva, la cual suple las necesidades de iones minerales de esmalte a través de la placa. El metabolismo ácido-básico de la placa determina su pH, el que a su vez está relacionado con el equilibrio desmineralización-remineralización del esmalte. Aún cuando la placa puede considerarse como una barrera para los iones salivales que son utilizados en la remineralización, también sirve como un depósito para estos iones ⁽¹⁹⁾.

La concentración de calcio, fosfato y flúor en el ambiente remineralizante, y el pH, son factores significativos que determinan si la remineralización ocurrirá. Cuando están presentes en la desmineralización sirven como la fuente de nuevo mineral para la remineralización ⁽¹⁹⁾.

Cuando disminuye el pH e inicia la desmineralización del esmalte, a este pH se le llama pH crítico, Normalmente este pH crítico está entre 5.2 y 5.5. Es interesante saber que el pH crítico se alcanza con mayor facilidad para la disolución de la hidroxiapatita que para la fluorapatita, es decir, que mientras la hidroxiapatita comenzará a diluirse alrededor de un pH de 5.2-5.5, la fluorapatita resiste hasta un pH de menos de 4.5 ⁽¹⁰⁾.

El fluoruro reduce la incidencia de caries dental en un 50-60% cuando se administra aproximadamente 1 ppm en adultos por día y 0.5 ppm en niños menores de 3 años ^(4,8). Cuando la concentración del mismo en el agua de consumo es mayor a la ideal el fluoruro causa manifestaciones tóxicas en el esmalte y en el sistema óseo.

6. Consideraciones de la ingesta de fluoruro sobre la salud

El fluoruro altera el metabolismo humano, sus efectos tóxicos se pueden clasificar en agudos o crónicos.

6.1 Intoxicación aguda de fluoruro

El fluoruro se combina con el ácido fluorhídrico en el estómago, formando el ácido hidrófluórico (HF). Cuando se ingiere gran cantidad de fluoruro, en el estómago aumenta el ácido hidrófluórico y causa un efecto corrosivo en la mucosa gástrica, como resultado hay síntomas gastrointestinales como náuseas, vómitos, diarrea y dolores abdominales, estas características se asocian con dosis hasta de 3 ppm. La toxicidad aumenta cuando es mayor de 8 ppm, puede producir dolor muscular, reflejos hiperactivos, parestesia, además afecta los siguientes sistemas: digestivo, cardiovascular, respiratorio y nervioso central ⁽¹⁾. La dosis letal estimada de fluoruro de sodio en adultos es de 5 g y la que muestra toxicidad inicial es de 280 mg (4 mg/kg) ⁽⁸⁾. La dosis letal es de escasa frecuencia, ya que se produce en casos de envenenamiento accidental o con fines suicidas y las muertes que ocurren se deben a parálisis respiratoria, insuficiencia cardiaca, o ambas.

El medio más eficaz para retrasar y reducir la absorción del fluoruro es induciendo al vómito principalmente (el agua salada es útil), y luego administrar leche o una solución que contenga una sal soluble de calcio o agua alcalinizada, que forma sales insolubles con el ión fluoruro y reduce al mínimo la absorción del mismo en el aparato digestivo, u otra preparación que contenga hidróxido de aluminio ^(8,13,23).

6.2 Intoxicación crónica de fluoruro

6.2.1 Fluorosis dental

Se refiere a las manchas en el esmalte de los dientes y se presenta por el consumo crónico de un alto contenido de fluoruro en el agua potable y se manifiesta por la aparición de esmalte moteado, que es una hipoplasia endémica, los dientes más afectados son los permanentes y en ocasiones se observa en la primera dentición ⁽²³⁾.

El esmalte con trastorno hipoplásico e hipomineralizado puede confundirse con otras lesiones que su apariencia clínica es similar pero su etiología es diferente, entre estas lesiones debemos de mencionar a la amelogénesis imperfecta ⁽²⁴⁾.

Debido a que hay una relación cuantitativa entre la concentración de fluoruro del agua y la intensidad del esmalte moteado, Dean clasificó el esmalte que va desde la normalidad hasta la forma más extensa de fluorosis. En su clasificación los niveles leve y moderado hacen que se mantenga la continuidad de la superficie del esmalte, mientras en las formas graves se rompe la continuidad de la superficie del esmalte ⁽⁷⁾. Esta clasificación es la siguiente:

- Normal: El esmalte presenta la estructura usual y translúcida semivitriforme. La superficie es lisa, brillante y usualmente de color crema blanco pálido.
- Dudoso: El esmalte presenta pequeñas aberraciones de lo que es un esmalte normal translúcido, variando de unos pocos puntos o listas blancas a puntos ocasionales. Esta clasificación se utiliza en aquellos casos donde no se puede asegurar la existencia de una forma muy leve de fluorosis, y no se justifica la clasificación de normal.
- Muy leve: Pequeñas áreas opacas de color blanco papel, dispersas en forma irregular, pero sin abarcar más de un 25% de la superficie del diente. Se incluyen con frecuencia a esta clasificación los dientes que no muestran más de uno a dos milímetros de opacidad blanquecina en las puntas de los ápices de las cúspides de los bicúspides o segundos molares.
- Leve: La opacidad blanca en el esmalte del diente es más extensa, pero no abarca el 50% del diente.
- Moderada: Todas las superficies del esmalte de los dientes están afectadas y las superficies sujetas a roces están con marcado desgaste. Las manchas parduscas constituyen un factor desfigurante.
- Severa: Incluye los dientes clasificados antes como moderadamente severos. Todas las superficies del esmalte están afectadas, y la hipoplasia es tan marcada que la forma general del diente puede afectarse. El mayor signo de diagnóstico de esta clasificación es la discreta o confluyente picadura ⁽⁷⁾. Aparecen manchas parduscas generalizadas y los dientes presentan a menudo un aspecto corroído ⁽²⁹⁾.

6.2.2 Fluorosis Esquelética

El fluoruro se deposita principalmente en el hueso maduro a expensas de los iones de sodio, potasio, magnesio, carbonato y citrato, que están situados en la superficie de los cristales de apatita del hueso ⁽²³⁾. Se caracteriza por un aumento de la densidad del hueso, perceptible radiográficamente en adultos. La fluorosis incipiente generalmente se observa en adultos jóvenes y aquejan dolores vagos, localizados frecuentemente en pequeñas articulaciones de manos, pies, rodillas y columna vertebral; en casos avanzados se presentan complicaciones neurológicas que pueden deberse a lesión de una o varias raíces nerviosas o afección de la médula ósea, deformidades anquilosantes y trastornos renales ^(13,23).

La fluorosis anguilosante se presenta cuando hay un estado de intoxicación avanzado, por exposición de por lo menos 10 ppm diarios. La deformidad conduce a invalidez y sus causas más frecuentes son: cifosis, anquilosis de caderas y rodillas en flexión, fijación del tórax en posición de inspiración por la calcificación de los cartílagos y la respiración se hace abdominal ⁽³⁰⁾.

7. Métodos para medir la concentración de fluoruro en el agua

7.1 Métodos colorimétricos

Con ciertos iones multivalentes, los iones de fluoruro forman complejos de distintos colores estables. La mayor parte de los métodos colorimétricos para la determinación indirecta de iones del fluoruro se basa en tal formación del complejo, i.e., en la resultante de las reacciones de iones del fluoruro con complejos coloreados de estos metales y tintes orgánicos. El grado de cambio de color puede ser evaluado por comparación con una norma visual o como en la mayoría de los casos por espectrofotometría. Normalmente los reactivos usados son zirconyl-alizarin para titration visual y zirconyl-Spadns o circonio-eriochrome (cyanine) R para espectrofotometría.

El alizarin método azul, ha sido utilizado para la determinación de la concentración de fluoruro por medio del espectrofotómetro. La reacción básica es que un complejo del cerium rojo con complexote del alizarin se pone azul al agregar iones del fluoruro.

Métodos colorimétricos se han usado para la determinación de fluoruro de tejido de animales y fluidos, en agua, en tierra, en comida, en bebida y en aire. Un analizador semiautomatizado que utiliza la técnica de colorimetría es comercialmente disponible ⁽⁴⁾.

7.2 El electrodo selectivo para fluoruro

Fue introducido por Frant & Ross (1966). Debido a su funcionamiento excelente, rapidez y conveniencia general, se ha vuelto un método importante para determinar fluoruro en una variedad extensa de muestras procedentes del organismo y la industria. La selectividad del electrodo se basa en la propiedad de una membrana de sparingly cristales solubles solo de lantano, praseodimio o fluoruro de neodimio. La cual proporciona una respuesta electroquímica, que es proporcional a la actividad del ión fluoruro en la muestra.

El electrodo selectivo para fluoruro es utilizado para la determinación de fluoruro en el agua de bebida, en desagües industriales, agua marina, aire y aerosoles, gases, tierras y minerales, orina, suero, plasma, plantas y otros materiales biológicos. Se han desarrollado micrométodos en determinaciones en las cuales, se pueden realizar en volúmenes tan pequeños como 10 microlitros o menos. Existen instrumentos disponibles para la supervisión automatizada de los niveles de fluoruro al usar el electrodo selectivo.

La precisión y exactitud del método del electrodo excede a las técnicas del método colorimétrico para la mayoría de muestras a estudiar ⁽⁵⁾.

Para poder utilizar el electrodo selectivo para el fluoruro se usa un potenciómetro, que es un dispositivo para medir diferencias de potencial

7.3 Cromatografía de gas

La técnica de cromatografía de gas ha sido desarrollada para la determinación de fluoruro en materiales biológicos. Este método analítico ha sido usado para determinar la concentración de

fluoruro en el esmalte en menos de 1 micrómetro de la superficie del esmalte o desde 1 milímetro de diámetro de los lugares de muestra sobre la superficie del esmalte ⁽²⁵⁾.

8. Monografía del municipio de Malacatancito

Departamento:

- Huehuetenango

Municipio:

- Malacatancito

Categoría de la cabecera municipal:

- *Pueblo

Extensión:

- 268 Km²

Altura:

- 1,708 metros sobre el nivel del mar

Clima:

- Frío

Límites:

- Al norte con Huehuetenango y Santa Bárbara (Huehuetenango); al este con San Pedro Jocopilas (Quiché); al sur con Santa Lucía La Reforma y San Bartolo (Totonicapán); al oeste con Santa Bárbara (Huehuetenango), Sipacapa (San Marcos) y San Carlos Sija (Quetzaltenango).

División Político-administrativa:

- 1 pueblo, 15 aldeas y 30 caseríos

Accidentes Geográficos:

- Se encuentra en la Sierra de Los Cuchumatanes y lo rodean los Cerros: Bolsón, Las Codornices y Tujup. Lo riegan 32 ríos entre ellos el Pucal, origen del Chixoy o Negro, el de Mérida y el Hondo, que al unirse forman el río Serchilqué en el límite

con el departamento de El Quiché. También se encuentra 1 riachuelo, 18 arroyos y 3 quebradas.

Sitios arqueológicos:

- Pueblo Viejo, Cambote, Cúcal, Cucún, Hojachén, Pucal y Serchil.

Sitios Turísticos:

- La aldea Serchil, muy visitada por los baños de agua Salitrosas de propiedades terapéuticas.

*La cabecera municipal es un pueblo pequeño situado en un valle arenoso extenso, generalmente quebradizo, rodeado por cerros y montes (que han tenido pinos y encinares), cruzado por elevadas montañas, algo estéril por lo pedregoso, rico en minerales (oro, manganeso y azogue).

Número de habitantes:

- 15,540 habitantes (dato obtenido en el Instituto Nacional de Estadística, según censo del año 2002)

Idioma indígena predominante:

- Mam

Producción agropecuaria:

- Maíz, frijol y ganadería. Hay abundancia de cera vegetal (*myrica cerifera* L.), que se utiliza para fabricar velas.

Producción artesanal:

- Piedras de moler, aguarrás, laca y tejidos de lana.

Fiestas:

- La fiesta titular se celebra en julio, siendo el día principal el 26 cuando la iglesia conmemora a Santa Ana, madre de la Virgen María. También celebra otra feria, llamada del Rosario del 10 al 13 de noviembre.

Observaciones:

- Existen minas de oro, manganeso y azogue ^(11,16,17).

Geología:

- El municipio de Malacatancito; Huehuetenango se encuentra ubicado sobre rocas volcánicas sin dividir del terciario y sobre rocas metamórficas del paleozoico. Las rocas que constituyen las rocas volcánicas sin dividir del terciario son las rocas ígneas que forman la mayor parte del cinturón volcánico, estando comprendidas las lavas basálticas, andesíticas, riolitas, dacitas, tobas y lahares. Estas rocas se extienden de occidente a oriente y son el producto del vulcanismo mundial que tuvo lugar en el período terciario superior. Las rocas metamórficas forman el grupo Chuacús, las cuales se extienden a todo lo largo (de oriente a occidente) de la parte central del país, y están constituidas principalmente por filitas, esquistos, gneisses, mármol y migmatitas, que se encuentran en una franja que va de este a oeste, aflorando en el oeste y norte de San Marcos, en el sur y este de Huehuetenango, en el sur de Quiché, Alta Verapaz, Izabal, Jalapa, Jutiapa, cubriendo casi totalmente los departamentos de Baja Verapaz, el Progreso y Zacapa ⁽⁹⁾.
- Las regiones fisiográficas que se encuentran ubicadas en Malacatancito, Huehuetenango son: las tierras altas cristalinas y tierras altas volcánicas. Las tierras altas cristalinas están formadas por rocas metamórficas (filitas, gneisses y esquistos) y sedimentos del paleozoico, batolitos graníticos, rocas ultramáficas y en pequeñas áreas rocas plutónicas (principalmente el granito). Las tierras altas volcánicas contiene principalmente rocas basalto y riolitas ⁽⁹⁾.

VI. OBJETIVO

Determinar la concentración de fluoruros en el agua de consumo humano de las diferentes fuentes de abastecimiento en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango, por medio de la técnica del electrodo específico para ión flúor.

VII. VARIABLE

Determinar la concentración de fluoruros en el agua de consumo humano de las diferentes fuentes de abastecimiento en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango.

VIII. METODOLOGÍA

1. Solicitud a las autoridades:

- Se visitó la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango y se habló con sus autoridades y se les solicitó su colaboración para tener acceso al pozo municipal y las diferentes fuentes que lo abastecen, para poder recolectar las muestras de agua. Además se les informó que se recolectaría agua de los pozos domiciliarios existentes en el municipio. A los residentes se les pidió autorización para obtener las muestras de agua con un consentimiento informado (ver anexos)

2. Recolección de las muestras de agua:

- Al tener la autorización se recolectaron las muestras de agua de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua de consumo humano de la siguiente manera: se recolectó aproximadamente medio litro de agua en un recipiente plástico, con tapadera de plástico sin empaque de papel, corcho, metal o hule. El recipiente se limpió y enjuagó tres veces en la fuente de agua en donde se recolectó la muestra de agua de la localidad ^(3,6,14). Después de recolectada la muestra, se identificó con la fecha de recolección de la muestra, en que época del año fue recolectada y su ubicación.
- Se trasladaron las muestras al Laboratorio de Investigación de la Calidad de agua del Departamento de Análisis Inorgánico, de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en donde se realizaron los análisis a las diferentes fuentes de agua recolectadas por medio del potenciómetro y el electrodo específico de fluoruro.

3. Análisis de las muestras de agua:

I. Equipo utilizado:

- Potenciómetro
- Electrodo de combinación de fluoruro
- Agitador magnético, para homogenizar la solución

- Barras magnéticas, para homogenizar la solución
- Beakers plásticos, para recolectar desechos
- Succionador
- Pipetas de polipropileno de al menos 10 ml
- Pipetas de plástico
- Micropipetas de 1 ml
- Goteros plásticos
- Un balón aforado de polipropileno de 250 ml
- Probetas de polipropileno de 100 ml
- Servilletas de papel

II. Soluciones utilizadas:

- a. Agua destilada, para preparar todas las soluciones estándares y para lavar todos el instrumental plástico, el electrodo y las barras magnéticas
- b. Solución estándar: se preparó una solución base de 100 ppm de fluoruro de sodio de la siguiente manera: se pesaron 0.221 gramos de fluoruro de sodio en polvo de 95 % de pureza y se diluyó en un litro de agua destilada.
- c. TISAB de bajo nivel. Es el ajustador del esfuerzo iónico total. El TISAB aporta una gran cantidad de iones distintos al flúor para que las variaciones de estos no sean significativas, haciendo que el electrodo sea sensible únicamente a las variaciones del flúor. Preparación del TISAB de bajo nivel: en un beaker de un litro se colocaron 500 mililitros de agua destilada, se agregaron 57 mililitros de ácido acético glacial más 58 gramos de cloruro de sodio de grado reactivo, se colocó en baño de agua para enfriar. Luego se introdujo en la solución un electrodo de pH y se agregó, en incrementos, una solución 5 molar de NaOH hasta que el pH llegó a un valor entre 5.0 – 5.5. Se enfrió a temperatura ambiente y se aforó a un litro con agua destilada.

III. Calibración del electrodo:

Este procedimiento mide la pendiente del electrodo. La pendiente es definida como el cambio de milivoltios observados con cada cambio de diez veces en la concentración. Obteniendo el valor de la pendiente se provee el mejor significado para evaluar el funcionamiento del electrodo.

1. Se colocaron 50 ml de agua destilada y 50 ml de TISAB II, o 90 ml de agua destilada y 10 ml de TISAB III dentro de un beaker de 150 ml.
2. Se lavó el electrodo con agua destilada y se colocó en la solución preparada como se describe en los tres pasos que se describen a continuación:
3. Se seleccionó uno u otro de los estándares de fluoruro: 0.1 molar de fluoruro o 100 ppm de fluoruro. Se colocó con la pipeta 1 ml del estándar seleccionado dentro de un beaker. Se agitó completamente y cuando una lectura estable apareció, se anotó el potencial del electrodo en milivoltios.
4. Se colocó con la pipeta 10 ml del mismo estándar, en el mismo beaker. Se agitó completamente y cuando una lectura estable apareció, se anotó el potencial del electrodo en milivoltios.
5. La diferencia entre la primera y la segunda anotación del potencial es la pendiente del electrodo. La diferencia entre el primero y el segundo potencial debería encontrarse en un rango de 54 – 60 milivoltios a una temperatura de 25 °C. Si la diferencia en el potencial no está entre estos rangos, debe referirse el electrodo a reparación.

IV. Curva de calibración:

La curva de calibración se obtiene al medir el potencial eléctrico de una serie de soluciones estándar, lo cual permite calcular la concentración en las muestras al comparar los potenciales obtenidos con los potenciales de los estándares. Las soluciones estándar que se prepararon y los valores obtenidos se indican a continuación.

Se colocaron en un beaker 50 ml de agua destilada y 50 ml de TISAB de bajo nivel, se homogenizó la mezcla con la ayuda de un agitador magnético y una barra magnética, luego se introdujo el electrodo y se esperó a que se estabilizara en la pantalla del potenciómetro la lectura en mv y se anotó el valor dado. A esta solución (agua destilada y TISAB de bajo nivel) se le agregaron varios volúmenes de solución estándar y se anotó su resultado en mv.

: Tabla No. 1

Calibración del electrodo, agregando varios volúmenes de solución estándar, realizado en el Laboratorio de Investigación de la Calidad de Agua del Departamento de Análisis Inorgánico, de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia en el año 2006.

Volumen agregado de solución estándar	PPM	mV
1) 0.0 ml	0.00	226.8
2) 0.1 ml	0.01	228.5
3) 0.1 ml	0.02	223.0
4) 0.2 ml	0.04	216.0
5) 0.2 ml	0.06	205.1
6) 0.4 ml	0.10	198.6
7) 2.0 ml	0.29	181.4
8) 2.0 ml	0.48	171.8
9) 4.0 ml	0.86	159.6
10) 4.0 ml	1.24	149.6

V. Análisis de la concentración de fluoruro en las muestras de agua:

Las muestras de agua fueron llevadas para su estudio al Laboratorio de Investigación de la Calidad de Agua del Departamento de Análisis Inorgánico, de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. El método utilizado fue el de dilución de la muestra el cual consistió en agregar en un beaker 50 ml de TISAB de bajo nivel más 22.5 ml de agua destilada y 2.5 ml de agua de la muestra. Se introdujo una barra magnética en el beaker y se colocó en un agitador magnético, a continuación se sumergió el electrodo, se esperó a que se estabilizara la lectura en mv y se anotó el resultado. Este procedimiento se realizó con las 23 muestras de agua recolectadas, y en cada medición se lavó el beaker, así como el electrodo, con agua destilada y se secaron con servilletas de papel. Además se colocó una barra magnética nueva para cada muestra.

Para calcular la concentración de fluoruro en mg/l (ppm) se utilizó la curva de calibración, en la cual se obtuvo el potencial eléctrico de varios volúmenes de solución estándar (ver tabla No. 1), y los resultados en mv (potenciales eléctricos) de las muestras, éstos se analizaron por medio del método de regresión lineal.

Tabla No. 2

Concentración de fluoruro en milivoltios, de las 23 muestras de agua recolectadas en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango. Estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Investigación de la Calidad de Agua del Departamento de Análisis Inorgánico, de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia en el año 2006.

Número de Muestra de Agua	Concentración en Milivoltios de Fluoruro
1	150.9
2	191.8
3	211.2
4	209
5	206.6
6	214.2
7	211.8
8	209.5
9	211.6
10	216.4
11	208.4
12	206.4
13	209.4
14	217.1
15	199.7
16	150.1
17	208.9
18	213.4
19	216
20	215.3
21	211.7
22	213.5
23	202

La curva de la pendiente se dividió en dos segmentos y se trabajó cada uno por separado. Los valores en milivoltios de cada muestra se ubicaron en la primera o en la segunda curva, dependiendo en que rango se encontrara el valor de la muestra.

1) La primera curva de calibración, se tomaron los valores del segundo al quinto valor de la tabla No. 1, y se encuentra ente los rangos: 228.5 – 189.1

PPM	MV
0.01	228.5
0.02	223.0
0.04	216.0
0.06	205.1

$$R^2 = 0.99$$

$$A = 232.88 \text{ (Intercepto)}$$

$$B = -453.22 \text{ (Pendiente)}$$

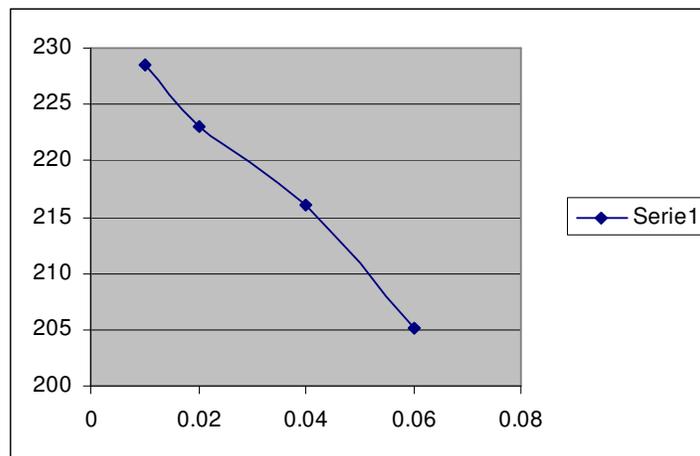
Se introdujo el valor en milivoltios (Tabla No. 2) que se encuentran entre el rango 228.5 – 189.1 en la siguiente fórmula:

$$\text{PPM} = \frac{232.88 - \text{Mv}}{453.22}$$

Gráfica No. 1

Primera curva de calibración en ppm de fluoruro

Potencial del Electrodo



ppm de fluoruro

2) La segunda curva de calibración, se tomaron los valores del sexto al décimo valor de la tabla No. 1, y se encuentra entre los rangos: 189.1 – 149.6

PPM	MV
0.29	181.4
0.48	171.8
0.86	159.6
1.24	149.6

$$R^2 = 0.98$$

$$A = 189.10 \text{ (Intercepto)}$$

$$B = -32.76 \text{ (pendiente)}$$

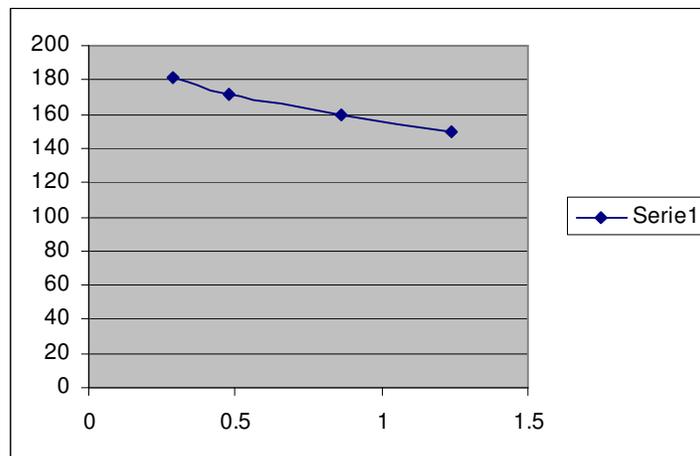
Se introdujo el valor en milivoltios comprendidos entre los valores arriba descritos en la siguiente fórmula:

$$\text{PPM} = \frac{189.10 - \text{mV}}{32.76}$$

Gráfica No 2

Segunda curva de Calibración en ppm de fluoruro.

Potencial del Electrodo



ppm de fluoruro

IX. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla No. 3

Concentraciones de Fluoruro en las diferentes fuentes de abastecimiento de agua de consumo de la cabecera municipal de Malacatancito; Huehuetenango año 2006.

No. MUESTRA	TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	UBICACIÓN DE LA FUENTE	CONCENTRACION DE FLUORURO EN Mg/L (ppm)
1	Pozo municipal	Pozo mecánico municipal	11.7
2	Nacimiento de agua	Nacimiento Kakòn	0.91
3	Nacimiento de agua	Nacimiento Kukal, Barrio el Twitz	0.48
4	Chorro domiciliar	Sector San Joaquin, Escuela Félix Calderón	0.53
5	Pozo artesanal	Sector San Joaquín	0.58
6	Pozo artesanal	Sector San Joaquin	0.41
7	Pozo artesanal	Sector La Comunidad	0.47
8	Pozo artesanal	Sector La Comunidad	0.52
9	Pozo artesanal	Sector Santa Ana	0.47
10	Pozo artesanal	Sector Santa Ana	0.36
11	Pozo artesanal	Sector Santa Ana	0.54
12	Chorro domiciliar	Sector Santa Ana	0.58

No. MUESTRA	TIPO FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	UBICACIÓN DE LA FUENTE	CONCENTRACION DE FLUORURO EN Mg/l (ppm)
13	Pozo artesanal	Sector Santa Ana	0.52
14	Chorro domiciliar	Varraca Grande	0.35
15	Nacimiento de agua	Nacimiento El Cotìn	0.73
16	Pozo artesanal	Calle Principal (a la par del colegio)	11.9
17	Pozo artesanal	Colegio Santa Ana	0.53
18	Pozo artesanal	Colegio Santa Ana	0.43
19	Pozo artesanal	Colegio Santa Ana	0.37
20	Pozo artesanal	Calle nueva	0.39
21	Pozo artesanal	Calle nueva	0.47
22	Pozo artesanal	Calle nueva	0.43
23	Pozo artesanal	Calle nueva	0.68

Nota: Las muestras de agua fueron recolectadas por sector.

Mediana: 0.52

Moda: 0.47

Rango: 0.35-11.9

A continuación se presentan dos mapas del municipio de Malacatancito, Huehuetenango. En el primero se encuentran los municipios de Malacatancito, Huehuetenango y en el segundo mapa se marcan las fuentes de agua estudiadas.

En esta investigación se recolectaron 23 muestras de agua. Las fuentes de abastecimiento de donde se recolectaron las muestras de agua fueron: nacimientos de agua, chorros domiciliarios y en su mayoría pozos artesanales, los resultados más sobresalientes fueron de 11.7 y 11.9 mg/l de fluoruro en el agua.

La concentración de fluoruro en Malacatancito, Huehuetenango fue estudiada hace aproximadamente 20 años y en ese estudio se determinó que la concentración del mismo era de 0.40 mg/l ⁽⁶⁾. Esta muestra fue recolectada de la fuente principal de abastecimiento de agua (chorro) de dicha localidad. Además esta investigación refiere que la concentración de fluoruro es deficiente para la cabecera municipal de este municipio ⁽⁶⁾.

Los resultados obtenidos por la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre la concentración de fluoruro en las principales fuentes de agua de consumo de las cabeceras municipales y poblados principales de la República de Guatemala determinó que la concentración del mismo era deficiente en todo el país a excepción del área nororiente, que posee concentraciones óptimas a supraóptimas de fluoruro ⁽¹⁴⁾.

Los resultados obtenidos en la presente investigación indican que hay dos fuentes de abastecimiento de agua de consumo con una concentración supraóptima de fluoruro, esta concentración supraóptima además de causar daño a la estructura dental del diente (fluorosis dental), también causa daño en la estructura ósea (fluorosis ósea). Los síntomas de la fluorosis ósea pueden diagnosticarse erróneamente como reumatismo u osteoartritis.

En estudios realizados en áreas con cantidades excesivas de fluoruro de origen natural (2 a 8 mg/l) muestran casos de fluorosis dental así como de fluorosis ósea, por lo que se debe prestar atención al paciente adulto, y no únicamente a los efectos en la dentición del paciente niño.

El agua entubada que llega a la mayoría de los hogares que habitan en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango proviene del tanque municipal. Este tanque es abastecido por dos nacimientos de agua y por el pozo mecánico municipal. La concentración de fluoruro que se encontró en cada uno de ellos se indica a continuación: en el nacimiento Kakón fue de 0.91 mg/l, en el nacimiento Kukal fue de 0.48 mg/l y en el pozo mecánico municipal fue de 11.70 mg/l. La concentración supraóptima de fluoruro se puede deber a lixiviación de los suelos, ya que Malacatancito, Huehuetenango se encuentra ubicado geológicamente sobre rocas metamórficas, rocas plutónicas y rocas volcánicas como las ígneas ⁽⁹⁾. Ver anexos.

De acuerdo a la temperatura ambiental de la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango, y al promedio de consumo de agua en niños de hasta 10 años de edad se estableció la concentración óptima de fluoruro para esta región, la cual es de 0.8 mg/l ⁽⁶⁾, Basados en esta concentración óptima de fluoruro podemos decir que la concentración de fluoruro en esta región es deficiente, ya que sólo tres muestras de agua se encuentran arriba de la concentración óptima.

Conjuntamente a esta investigación, se está realizando un estudio sobre la ingesta de fluoruro en niños escolares de nivel primario que habitan en la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango, y los resultados preliminares obtenidos indican que la excreción de fluoruro es elevada. Entre los valores más significativos encontramos: 33.78, 28.35, 26.01, 22.5, 19.02 mg. Es importante mencionar que se recolectaron muestras de 33 niños y que de los cuales solo 3 presentaban una excreción de fluoruro menor a 1 mg ⁽¹²⁾.

La municipalidad de Malacatancito, Huehuetenango al momento de recolectar las muestras de agua para el presente estudio, estaba construyendo un pozo nuevo en la aldea Cacum, este nuevo pozo no contaba con electricidad y tuberías, por lo que no se pudo obtener una muestra de agua para su análisis correspondiente.

X. CONCLUSIONES

Las diferentes fuentes de abastecimiento de agua varían grandemente en la concentración de fluoruro encontradas, estas concentraciones oscilan entre 0.35 mg/l a 11.90 mg/l.

Las concentraciones supraóptimas de fluoruro encontradas fueron dos, sus valores fueron de 11.70 mg/l (pozo mecánico) y de 11.90 mg/l (chorro de la calle principal). Estos valores superan los encontrados en las fincas bananeras Yaqui, El Pilar, Creek, Yuma, Choxtaw en el municipio de los Amates, Izabal ^(26,27).

La mayoría de la población que reside en la cabecera municipal de Malacatancito; Huehuetenango, es abastecida por el tanque municipal, por lo que conjuntamente con este estudio se está realizando una investigación más, sobre la concentración y excreción urinaria de fluoruro y datos preliminares nos indican que la excreción del mismo es supraóptima en la mayoría de las muestras analizadas ⁽¹²⁾.

La concentración de fluoruro encontrada en dos muestras de agua es supraóptima, por lo que los pobladores de la cabecera municipal de Malacatancito; Huehuetenango, padecen de fluorosis dental ⁽²¹⁾, y probablemente fluorosis ósea.

Las fuentes de abastecimiento fueron en su mayor parte pozos artesanales. También se obtuvieron algunas muestras de agua de nacimientos de agua y chorros domiciliarios.

En general, de las 23 muestras de agua analizadas en la cabecera municipal de Malacatancito; Huehuetenango, se determinó que 22 muestras contienen una concentración de fluoruro deficiente.

XI. RECOMENDACIONES

Es necesario analizar el agua del nuevo pozo en construcción para determinar si es recomendable la concentración de fluoruro y apresurar los trabajos para hacer uso de él, lo más pronto posible.

Eliminar de la fuente de abastecimiento de agua el exceso de fluoruro, por medio de una técnica de filtración; como por ejemplo, las que utilizan carbón de hueso o filtros de piedra pómez ⁽²⁷⁾.

Es necesario instruir a la población residente, especialmente a sus autoridades médicas y civiles sobre la naturaleza del problema para aplicar medidas preventivas correspondientes y el tratamiento de las personas con fluorosis dental.

Con base a los resultados obtenidos evitar proporcionar enjuagues, aplicaciones tópicas, pastillas prenatales con flúor, ni adicionar fluoruro en la sal o en la azúcar.

Realizar estudios más específicos en personas adultas para conocer los posibles daños de tipo sistémico y, principalmente, esquelético y neurológico en esta comunidad.

Es necesario y urgente el establecimiento de un sistema adecuado de purificación de agua de consumo, ya que se encontraron varios pozos artesanales con restos de materiales en suspensión, por lo que disminuir la contaminación de los mismos es esencial.

Se recomienda volver a realizar el análisis de las muestras de agua con concentración elevada de fluoruro para corroborar la concentración del mismo, ya que en Guatemala el área nororiente del país era la única región en la que se había determinado con concentraciones supraóptimas de este ión.

XI. BIBLIOGRAFÍA

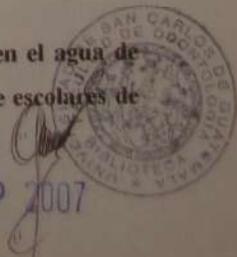
1. Alder, P. et al. (1972). **Fluoruros y salud**. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. s.e. pp. 17-274. (Monografía No. 59).
2. Alonso Cervantes, C. (1988). **Determinación de la concentración de fluoruro del agua de bebida en las cabeceras municipales y poblados principales del departamento de El Progreso**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 56 p.
3. Buchhalter Barrientos, E. (1993). **Prevalencia y experiencia de caries dental en dentición primaria y su relación con la concentración de fluoruros en el agua de bebida, de 31 poblaciones de la República de Guatemala**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 85 p.
4. Cabrera Melgar, J. C. (1998). **Evaluación del programa de fluoruración de Empagua por medio de la estimación de la ingesta de fluoruro, a través de la determinación de la concentración de fluoruro en la orina, en escolares de nivel primario, inscritos en 1998 en escuelas públicas y privadas que son abastecidas por el agua de Empagua**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 50 p.
5. Cáceres Espinosa, G. R. (1993). **Concentración de flúor en el agua de consumo, y su relación con la concentración de flúor excretado en orina en una muestra de personas que habitan en la aldea Salóbrega, municipio de Sanarate departamento de El Progreso**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 75 p.
6. Castañeda Castañeda, E. (1987). **Medición de la concentración de fluoruros en el agua de consumo de los municipios del departamento de Huehuetenango**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de san Carlos, Facultad de Odontología. 80 p.
7. Chicas Ruiz, S. P. (1987). **Concentración de fluoruro en el agua de bebida de los municipios del departamento de Escuintla**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 60 p.

8. Ciancio, S. G. y Bourgault, P. C. (1989). **Farmacología clínica para odontólogos**. 3 ed. México: Manual Moderno. pp. 191-201.
9. **Criterios para recomendar el manejo de la fertilidad del suelo: 1er curso nacional de postgrado**. (1997). Guatemala: Edición F&G Editores/ Subárea Manejo de Suelo y Agua, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. pp 51-87.
10. Cuenca, E., Manau, C. y Serra. LL. (1991). **Manual de odontología preventiva y comunitaria**. Barcelona: Masson. pp. 68-76.
11. **Diccionario geográfico de Guatemala** (1978). Guatemala: Comodes. Tomo II. pp. 570-574.
12. Estrada Hernández, R. S. (2007). **Determinación de la Excreción de fluoruro en niños de nivel primario de la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango**. Tesis en proceso. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Odontología.
13. González Dubón, M. (1992). **Relación de la concentración de ión flúor con fluorosis y caries dental, en una muestra de veinte familias que consumen agua de pozos en Cubulco, Baja Verapaz**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 99 p.
14. González, M., Sánchez, R. y Villacorta, L. (1987). **Resumen del informe parcial de investigación determinación de la concentración natural de fluoruro en las principales fuentes de agua de bebida de las cabeceras municipales y poblados principales de la República de Guatemala**. Guatemala: Departamento de Educación Odontológica, Facultad de Odontología, Universidad de San Carlos. 4 p.
15. Hardman, J. G. et al. editors. (1996). **Goodman & Gilman Las bases farmacológicas de la terapéutica**. Trad. José Rafael Blengio Pinto, Bernardo Rivera Muñoz y Santiago Sapiña Renard. 9 ed. México: Interamericana. v 2. pp. 1799.
16. Instituto de Estudios y Capacitación Cívica, (2001). **Diccionario municipal de Guatemala**. 3 ed. Guatemala: Comodes. pp. 93-94.



25 SEP 2007

17. INE (Instituto Nacional de Estadística). (2002). **Censos nacionales XI de población y VI de habitación, 2002, características de la población y de los locales de habitación censados**. Guatemala: Comodes. pp. 79.
18. Katz, S., McDonald, J. L. y Stookey, G. K. (1993). **Odontología preventiva en acción**. Trad. Roberto J. Poter. 3 ed. México: Panamericana. pp. 195-225.
19. Mellberg, J. R. (1986). **Conceptos actuales en la remineralización de las lesiones tempranas de caries**. Guatemala: Departamento de Educación Odontológica, Facultad de Odontología, Universidad de San Carlos. pp. 83-91.
20. McDonalds, R. E. y Avery, D. R. (1998). **Odontología pediátrica y del adolescente**. 6 ed. España: Clamades. pp. 53-55.
21. Montoya Imeri, M. V. (2006). **Prevalencia de fluorosis dental, en escolares de nivel primario de la cabecera municipal de Malacatancito, Huehuetenango durante el año 2006**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Odontología. 39 p.
22. Mortimer, C. E. (1983). **Química**. Trad. Jaime Guerrero Santafé. México: Iberoamericana. pp. 521.
23. Orozco Jerez, J. M. (1989). **Determinación de la concentración de fluoruro en el agua de consumo de los municipios, de los departamentos de Zacapa y Chiquimula**. Tesis (Lic. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 62 p.
24. Regezy, J. A. y Sciuba, J. J. (2002). **Patología bucal: correlaciones clínico patológicas**. Trad. José Pérez Gómez. 3 ed. México: McGraw-Hill interamericana. pp. 466-470.
25. Relief, D. H. et al. (1985). **An evaluation of three procedures for fluoride analysis**. Caries Res. 19: 248-254.
26. Sánchez Rosales, J. E. (1992). **Relación entre la concentración de fluoruro en el agua de consumo y la excreción y concentración de fluoruro en orina en una muestra de escolares de**



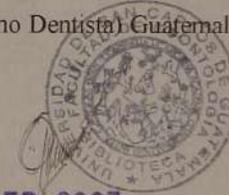
las fincas bananeras del municipio de los Amates, Izabal. Tesis (Lic. Cirujano Dentista) Guatemala: Universidad de San Carlos. Facultad de Odontología. 118 p.

27. Solis Zavala, L. M. (1992). **Alternativas factibles de defluoruración parcial de agua de consumo humano en las fincas bananeras Yaqui, El Pilar, Creek, Yuma, Choctaw en el municipio de los Amates, Izabal.** Tesis (Lic. Cirujano Dentista) Guatemala: Universidad de San Carlos. Facultad de Odontología. 57 p.

28. Vera Terceros, Omar. **Geología.** (en línea). Consultado el 22 de mayo 2007. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos/geologia/geologia.shtml>.

29. Word, J.; Keenan, Ch. W. y Bull, E. (1976). **Química general.** Trad. Juan Pacheco y José Doria. 2 ed. Tennessee: Prensa Técnica. pp. 334-339.

30. Zamboni Chang, M. A. (1988). **Concentración de fluoruros en el agua de consumo y su relación con caries y fluorosis dental en una muestra de adultos de la comunidad de agua Salóbrega, municipio de Sanarate.** Tesis (Lic. Cirujano Dentista) Guatemala: Universidad de San Carlos. Facultad de Odontología. 125 p.



25 SEP 2007

XIII. ANEXOS

Guatemala,
Julio de 2006

Señores Padres de Familia o Encargados

La estudiante Escarletth Julissa Flores Garrido, de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, esta realizando su estudio de campo sobre el punto de tesis titulado DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE FLUORURO EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, EN LAS DIFERENTES FUENTES DE ABASTECIMIENTO, DE LA CABECERA MUNICIPAL DE MALACATANCITO, HUEHUETENANGO; para investigar cuál es la concentración de fluoruro de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua de ésta población., ya que se han detectado casos de fluorosis dental en este lugar. La fluorosis dental es un transtorno hipoplásico que afecta la estructura del diente. Podemos observar manchas en el esmalte dental que pueden ser leves (pocas), moderadas y severas (muchas), además cuando se presenta la forma severa presenta picaduras en los dientes. Su severidad depende de la concentración de fluoruro en el agua. Una concentración beneficiosa para el dientes es de aproximadamente 1 ppm. Las muestras de agua obtenidas serán analizadas en el laboratorio de Análisis Inorgánico de la Facultad de Farmacia de la Universidad de San Carlos.

Yo _____ luego de haber comprendido el contenido de este documento y la explicación, autorizo la recolección de la (s) muestra (s) de agua.

No. De cédula _____ Fecha _____

Dirección _____

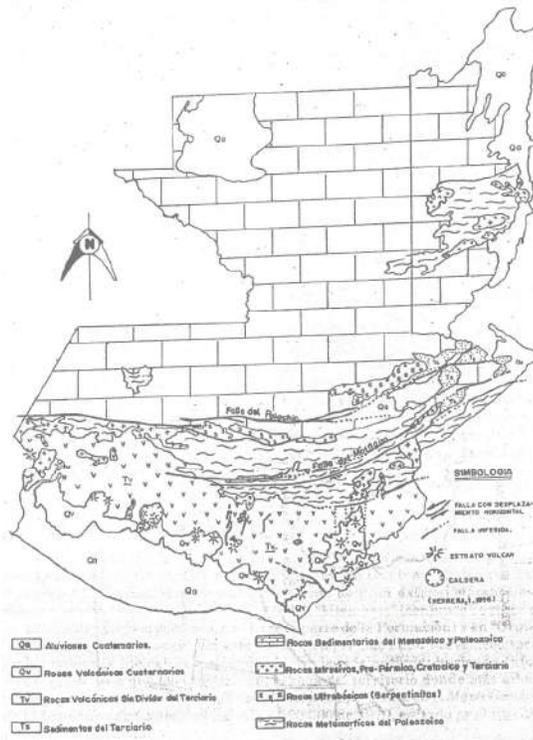
Hoja de recolección de Datos

En el orden en que se recolecten las muestras se les colocará el número luego se colocará la dirección y el nombre del encargado.

No.	Dirección	Nombre Encargado	Fecha	Época del año	Pozo o chorro
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
15					

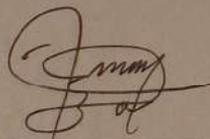


REGIONES FISIGRÁFICAS DE GUATEMALA
(Tomado del Mapa de Formas de la Tierra, IGN)



MAPA GEOLÓGICO DE GUATEMALA

El contenido de esta tesis es única y exclusivamente, responsabilidad del autor:



Escarletth Julissa Flores Garrido de González

Escarlett Julissa Flores Garrido
Sustentante

Dr. Victor Hugo Lima Sagastume
Asesor



Dr. Ricardo Antonio Sánchez Avila
Asesor



Dr. Manuel Anibal Miranda Ramirez
Revisor
Comisión de Tesis

Dr. Edwin Oswaldo López Díaz
Revisor
Comisión de Tesis

IMPRÍMASE:

Vo. Bo.

Dra. Candida Luz Franco Lemus
Secretaria Académica

