



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



TITULO: “CUANDO EL AGUA MANCHA...”

EJE: Extensión, docencia e investigación

AUTORES: Gallará RV, Piazza LA, Piñas ME, Barteik ME, Moncunill I, García MG, Lecomte KL y Ponce RH.

REFERENCIA INSTITUCIONAL: Facultades de Odontología y Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Agronomía, Sede Punilla, Universidad Nacional de Buenos Aires. Argentina.

CONTACTOS: rgallara@gmail.com

RESUMEN

La comuna de Charbonier se ubica a 115 Km. al noroeste de la ciudad de Córdoba (Departamento Punilla), en el faldeo occidental de las Sierras Chicas. Gran parte de la población presenta patologías bucales y dientes con manchas oscuras. A concentraciones bajas en el agua de bebida (< 1 mg/L), el fluoruro (F^-) favorece el proceso de mineralización de los tejidos duros. Sin embargo, la ingesta prolongada de agua con concentraciones superiores a 1 mg/L da lugar a un cuadro clínico denominado **fluorosis**. Esta enfermedad se caracteriza por dientes moteados en la **fluorosis dental** y huesos quebradizos en la **fluorosis esquelética**. Puede también afectar los tejidos blandos y el sistema nervioso. La **fluorosis dental** es una hipomineralización del esmalte, como resultado de un exceso en la ingesta de F^- durante su formación, que se manifiesta por la aparición de finas rayas blancas hasta manchas de color oscuro con pérdida del esmalte. Es un problema endémico de salud pública que afecta a la población infantil y adolescente de varias regiones del mundo y se presenta normalmente asociada a grupos humanos con escaso poder adquisitivo, limitado acceso a la información y deficiente cobertura de salud. El **objetivo general** de nuestra intervención fue estudiar en la población infantil en edad escolar de Charbonier la relación entre manchas en los dientes y fluorosis dental a fin de plantear en la zona una tarea de prevención y concientización sobre esta problemática. **Objetivo específico 1:** *Indagar la prevalencia de fluorosis dental y su asociación con la concentración de fluoruro en el agua de bebida.* En individuos de 5 a 11 años se evaluó el grado de fluorosis dental, la ingesta total diaria de F^- por individuo y la concentración de F^- en el agua que beben. La fluorosis en todas las superficies dentales permanentes fue del 86,7% y en dientes maxilares anteriores del 77,8%. La ingesta diaria de F^- (3,90 mg/día) duplicó la recomendada por la OMS (1,68



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



mg/día). El agua presentó elevadas concentraciones de F^- (1,7 a 3,4 mg/L). Se estableció que el área de estudio es una zona de fluorosis endémica. **Objetivo específico 2:** *Evaluar fuentes de agua segura, diferentes a las que se usan en la actualidad, para abastecer a la población.* Se tomaron muestras de aguas superficiales y subterráneas en zonas aledañas a la población de Charbonier y se realizó la caracterización físico-química. El pH osciló entre 7,18 y 8,38; la concentración de oxígeno disuelto en el agua osciló entre 7,5 y 12,5 mg/L. La composición iónica mayoritaria de las muestras de aguas reúne los criterios de potabilidad para el consumo humano, a excepción de la concentración de F^- que supera los límites recomendados por la OMS de 1 mg/L. Por lo tanto, la estrategia de abastecer a la población de agua segura de otras fuentes aledañas no puede implementarse. **Objetivo específico 3:** *Desarrollar un sistema de desfluoridación de agua de bebida que responda al concepto de tecnología apropiada.* Se analizó la capacidad de desfluoridación utilizando como adsorbente de F^- tres tipos de suelos arcillosos de la zona. Sólo uno mostró capacidad (0,02 mg F^- /g de suelo) para remover el F^- del agua hasta valores permitidos. Con este material se diseñó un filtro domiciliario de manufactura casera, que reúne los requisitos de tecnología apropiada para remover el F^- del agua, es decir, de bajo costo, fácil instalación y simple mantenimiento. Estos resultados corresponden a la primera etapa para solucionar la problemática de la región. Además, en la comunidad se realizaron actividades de promoción sobre el cuidado de la salud general y la buco dental en particular. En el equipo de trabajo se promovió la formación especializada, la toma de conciencia y el compromiso social frente a problemas ampliamente difundidos. La **fluorosis** se agravará en el futuro si no se adoptan medidas preventivas en esta área de fluorosis endémica. El factor ambiental, la alimentación y el nivel de instrucción sanitaria podrían condicionar su severidad.

Subsidiado por: PVU, Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología; SEU, Universidad Nacional de Córdoba.

INTRODUCCIÓN

El fluoruro posee propiedades fisiológicas de gran interés en relación con la salud humana. Este ión pasa desde y hacia la atmósfera, agua, suelo, rocas y organismos vivos debido a un fenómeno natural o a actividades del hombre. Las características geoquímicas de la corteza terrestre resultantes de la actividad volcánica y plutónica son las principales fuentes de fluoruro (1).

A concentraciones bajas en el agua de bebida (menos de 1 mg/L), el fluoruro favorece el proceso de mineralización de los tejidos duros incrementando la medida de los cristales de



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



apatita y reduciendo su solubilidad. La ingesta prolongada de agua de bebida con concentraciones superiores a 1 mg/L de flúor da lugar a la aparición del cuadro clínico denominado fluorosis. Esta enfermedad se caracteriza por dientes moteados en la fluorosis dental y huesos quebradizos en la fluorosis esquelética. Puede también afectar los tejidos blandos y el sistema nervioso (2). La fluorosis endémica se relaciona con los hábitos alimentarios, el clima de la región y su condición social (3).

La fluorosis dental es una hipomineralización del esmalte caracterizada por mayor porosidad de superficie y subsuperficie que la del esmalte normal, como resultado de un exceso en la ingesta de flúor durante la formación del esmalte (4-10). Este cambio se manifiesta mediante una alteración de su apariencia, desde la aparición de finas rayas blancas hasta manchas de color oscuro. La fluorosis dental es un problema endémico de salud pública que afecta a la población infantil y adolescente de varias regiones del mundo (11) y se presenta normalmente asociada a grupos humanos con escaso poder adquisitivo, limitado acceso a la información y deficiente cobertura de salud.

Ante el requerimiento de las autoridades de la comuna de Charbonier y del Instituto Superior "Dr. Bernardo Houssay" de Capilla del Monte, nuestro equipo de trabajo se pone en contacto con los pobladores para estudiar si lo observado en los niños y adolescentes que asistían a la escuela Paula Albarracín de Sarmiento de la comuna de Charbonier era fluorosis dental.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar en la población infantil en edad escolar de Charbonier la relación entre manchas en los dientes y fluorosis dental a fin de plantear en la zona una tarea de prevención y concientización sobre esta problemática.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Indagar la prevalencia de fluorosis dental y su asociación con la concentración de fluoruro en el agua de bebida.
- Evaluar fuentes de agua segura, diferentes a las que se usan en la actualidad, para abastecer a la población.
- Desarrollar un sistema de desfluoridación de agua de bebida que responda al concepto de tecnología apropiada.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



ESTRATEGIAS Y COMPONENTES DE LA INTERVENCIÓN

Contexto social y geográfico

La comuna de Charbonier, con una población aproximada de 1000 habitantes, se encuentra en la Pedanía Dolores del Departamento Punilla a 110 Km de la ciudad de Córdoba. Comprende las comunidades rurales y serranas de Quebrada de la Luna, Santa Inés, Santa Isabel, Los Guevara, Río Seco, El Carrizal, Charbonier, Escobas, Masa y Las Lajas, cada una con sus características socioeconómicas y/o tradicionales propias, cuyo denominador común es la esencia criolla (12). Las familias de la zona en su mayoría desarrollan tareas rurales o se dedican a la manufactura de ladrillos. El asistencialismo social es importante, debido a la subocupación y escaso poder adquisitivo de sus habitantes. La escuela “Paula Albarracín de Sarmiento” de la comuna de Charbonier ofrece educación tanto a nivel inicial como primario. El Centro de Salud “Dr. Norberto Peralta”, el Centro de Adultos Mayores “Indio Martín Jaimes”, la Agrupación Gaucha “Honorio Capdevila” y el Destacamento Policial, entre otras, complementan el cuadro institucional de Charbonier. Se comunica con el resto de las poblaciones del valle y el país a través de la Ruta Nacional 38, que limita al sur con el cauce de Río Seco y con Capilla del Monte, al norte y este con la Pedanía Copacabana, Departamento Ischilín, y al oeste con la pedanía San Marcos Sierras en el Departamento Cruz del Eje.

La sierra de Charbonier es un conjunto de elevaciones suaves y moderadas en el faldeo occidental de las Sierras Chicas dentro de la denominada cuenca hidrológica del Río San Marcos. Geográficamente está situada entre los 30° 44' y los 30° 55' de Latitud Sur y entre los 64° 46' y los 65° 10' de Longitud Oeste, extendiéndose en un área de 341 Km² (13). En esta zona existen algunas vertientes que representan rasgos hidrogeológicos de importancia a los fines de captar agua para la población, siendo una de ellas el nacimiento del pequeño arroyo Pum Pum, hoy Charbonier. El agua proveniente de este arroyo, junto a la de dos perforaciones, se utiliza para el consumo humano a través del sistema de red de agua domiciliaria comunal en la zona centro, persistiendo el consumo de agua de pozo en el resto de la población.

Integración y desarrollo de las actividades del equipo de trabajo

En reuniones quincenales los miembros del equipo de trabajo intercambiaron opiniones, discutieron ideas, planificaron las actividades en campo y los abordajes a emplear. Todo esto permitió la integración de conocimientos y la coordinación de lo planificado. Los



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



miembros del equipo (Universidad-Comuna) participaron en la toma de decisiones colectivas y acordaron las acciones a realizar. Las reuniones del equipo favorecieron el compromiso de pertenencia de los integrantes, su acercamiento a la comunidad de Charbonier e identificación con el rol asumido.

Concentración de fluoruro en agua de bebida

Los estudios se realizaron en muestras de agua provenientes de la Escuela y de los domicilios de cada uno de los alumnos. Las determinaciones de F^- (mg/L) se realizaron con el método de electrodo de ión selectivo, recomendado por el Comité de Prevención de Enfermedades Epidémicas (14), en la Cátedra "A" de Química Biológica de la Facultad de Odontología, Universidad Nacional de Córdoba. Los valores se expresaron como la media \pm ES.

Individuos

En la intervención participaron alumnos de ambos sexos, de 5 a 11 años de edad, que concurren al establecimiento educacional mencionado. Los procedimientos desarrollados respetaron las pautas establecidas en la declaración de Helsinki (1975 y revisado en 1983) y se solicitó el consentimiento informado de los padres o tutores.

Ingesta total de fluoruro

Para determinar la ingesta total de fluoruro (mg de F^- /por persona/por día), se diseñó una encuesta alimentaria contextualizada *ad hoc*, según lo establece la guía para el estudio de ingesta dietaria de contaminantes químicos (15). Esta encuesta fue realizada a los padres o tutores de los alumnos que participaron en esta intervención. Los valores se expresaron como la media \pm ES.

Examen clínico bucal y determinación del grado de fluorosis dental

Al realizar el examen bucal, el grado de fluorosis dental se evaluó utilizando el "Índice de Fluorosis de Superficie Dental" de Horowitz y col. (16). Los resultados fueron agrupados para lograr una comprensión adecuada de los mismos. En la categoría 0 se incluyeron los individuos con superficies dentales sin fluorosis; en las categorías 1 a 3, se agruparon las formas leves y en las categorías 4 a 7 las formas moderadas a severas de esta patología. En todos los casos se expresaron como el porcentaje de superficies dentales (%) de cada categoría sobre el total.



Sin fluorosis



Fluorosis leve



Fluorosis severa

Toma de muestras de agua

Teniendo en cuenta las características hidrogeológicas y las vías de acceso, sobre un mapa de la zona en estudio se ubicaron los posibles puntos de muestreo de aguas superficiales y subterráneas.

Análisis físico-químico de las aguas

En trabajo de campo se determinó conductividad, pH y oxígeno disuelto (OD) de las aguas subterráneas y superficiales. Las muestras de aguas filtradas y acidificadas se utilizaron para el análisis de cationes y las filtradas para el de aniones.

En las muestras recolectadas los aniones se cuantificaron mediante cromatografía de iones en el laboratorio del CIGeS (Centro de Investigaciones Geoquímicas y de los Procesos de la Superficie, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC), mientras que los cationes se determinaron por ICP-MS, (Activation Laboratories Ltd., Ancaster, Ontario, Canadá).

Desarrollo de un sistema para desfluorar el agua de bebida

A fin de desarrollar un método de remoción de fluoruro del agua de bebida, que sea apropiado y eficiente, se analizaron las características físico-químicas de las aguas superficiales y subterráneas de la zona con especial atención en aquellos parámetros que controlan la geoquímica del flúor.

A partir de los resultados obtenidos de la búsqueda de metodologías de desfluoridación que respondan al concepto de "tecnología apropiada", es decir que contemple las características socio-económicas y culturales de la población, como así también las características geográficas de la zona, se procedió a descartar en primera instancia aquellos métodos que requerían energía y altas inversiones.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



Los métodos restantes fueron estudiados desde dos aspectos:

- Viabilidad técnica: se tuvieron en cuenta aquellos métodos de uso domiciliario y manufactura casera.
- Viabilidad económica: búsqueda de un adsorbente natural de flúor en sedimentos o de otra procedencia.

Aquellas técnicas que reunían los criterios de viabilidad mencionados, para la desfluoridación del agua, se presentaron a los miembros de la comunidad con el objetivo de intercambiar opiniones acerca de la sustentabilidad ambiental de las mismas y su aceptación, respetando las opiniones de los futuros usuarios. El método seleccionado para su implementación fue el uso de suelos arcillosos que se comportan como intercambiadores iónicos por lo que han sido estudiados extensamente como agentes para remover el fluoruro del agua (17,18). Con el objetivo de determinar si existía este tipo de materiales en la zona, el equipo de trabajo en conjunto con miembros de la comunidad recolectó muestras de suelos arcillosos.

Las actividades que se desarrollaron en relación a las muestras de suelo arcilloso recolectadas fueron:

1. Estudio de la eficiencia de adsorción de fluoruro.
2. Caracterización físico-química sólo de aquellos suelos que mostrasen capacidad adsorbente.
3. Estudio de su capacidad para desfluorar el agua.
4. Calidad del agua desfluorada.
5. Diseño de un filtro domiciliario para remover el fluoruro del agua de bebida

RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL PROCESO

Fluoruro en agua de bebida

La concentración de F⁻ en el agua de bebida de diferentes orígenes en la zona de estudio se muestra en la figura 1. Las muestras de agua presentaron valores de 1,70 a 3,42 mg/L superando el valor recomendado por los organismos nacionales e internacionales, de 1 mg/L (15). Estos resultados permitieron establecer que el área donde se ubica la población de Charbonier se considera zona de fluorosis endémica.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



REFERENCIAS:

Red Charbonier.
Posta policial
Charbonier.
Vertiente El Ojito
Charbonier.
Río Charbonier.
Pozo Escobas.
Pozo A Charbonier.
Pozo B Charbonier.
Pozo C Charbonier.
Pozo D Charbonier.
Red Cruz del Eje.
Red Córdoba.
Agua destilada.

Figura 1. Concentración de fluoruro (mg/L) en muestras de agua de bebida en la comuna de Charbonier y otras zonas de la Provincia de Córdoba.

Ingesta de fluoruro

La ingesta promedio total de F⁻ por día fue de $3,90 \pm 0,20$ mg F⁻/día (N=24). El ser humano en su dieta consume fluoruros presentes en vegetales, camarones, peces y en infusiones como el té. Sin embargo se considera que la principal fuente de ingesta de fluoruros es la que proviene del agua de bebida y la que se emplea en la cocción de los alimentos. La cantidad que se ingiere de este ión en la dieta es difícil de establecer en función de las variaciones individuales, regionales y culturales en la alimentación y también por la industrialización de los alimentos (19). Si se considera que el consumo máximo de flúor recomendado para niños de 7 a 11 años es de 1,68 mg/día (20, 21), nuestros resultados indican que la ingesta total promedio de flúor en los niños de esta zona duplica la cantidad máxima recomendada.

Índice de Fluorosis Dental

Evaluación de todas las superficies dentales permanentes:

En la figura 2 se muestran los porcentajes de distribución del índice de fluorosis de 636 superficies dentales. El 86,7% presentó grado leve y severo de fluorosis; el 63,82 %



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



corresponde a formas leves a moderadas y el 22,90% a formas severas. Estos valores concuerdan con los observados por Horowitz y col. (16) en individuos de la misma franja etaria estudiada y en zonas endémicas de flúor con una concentración en el agua de bebida tres veces superior a la considerada como normal. A partir de estos resultados se pudo concluir que las manchas en los dientes de los pobladores corresponden al cuadro clínico de fluorosis dental.

Figura 2. Porcentajes de distribución del índice de fluorosis acumulado en superficies dentales de dientes permanentes en individuos de 6 a 11 años.

Evaluación de todas las superficies de dientes maxilares anteriores permanentes:

En la figura 3 se observa que del estudio de 122 superficies dentales el 77,8% mostró grados leve, moderado y severo de fluorosis. Los dientes maxilares anteriores son los más importantes desde el punto de vista estético. Al evaluar las superficies de estos dientes, los índices de fluorosis siguen la misma distribución que la obtenida para todas las superficies dentales (Fig. 2), situación que genera consecuencias de concernimiento estético y funcional (22).

Figura 3. Porcentajes de distribución del índice de fluorosis acumulado en superficies dentales maxilares anteriores en individuos de 6 a 11 años.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



Índice de fluorosis en dentición primaria:

En niños de la zona el 32,5% de los segundos molares primarios mostraron algún grado de fluorosis dental entre leve y severo. Existen pocos estudios sobre fluorosis dental en dentición primaria, a la que a menudo se la describe como “menos severa”, que la encontrada en la dentición permanente (23, 24). Los molares primarios, en particular los segundos molares, son los más afectados, describiéndose en estos casos una estrecha correlación entre fluorosis dental y niveles de flúor en el agua de bebida (25, 26). La aparición de algún grado de fluorosis dental leve, moderado o severo en estos elementos es de gran significación desde el punto de vista de prevención y promoción de la salud, ya que ha sido plenamente demostrado que la fluorosis en dientes primarios se corresponde con la aparición de fluorosis en la dentición permanente (27, 28).

Recolección de muestras y caracterización físico-química de las aguas superficiales Y subterráneas de la zona de Charbonier

La comuna de Charbonier representa un área de fluorosis endémica por lo que el abastecimiento de agua de bebida segura de fuentes distantes es una alternativa. Con el propósito de contemplar esta posibilidad se realizó una caracterización físico-química de las aguas superficiales y subterráneas en zonas aledañas a la comuna. El acceso a los lugares de muestreo se realizó gracias a la espontánea participación de miembros de la localidad de Charbonier.

Las muestras de agua se obtuvieron en dos épocas estacionales, verano y otoño. En campo se realizaron las determinaciones de pH obteniendo resultados entre 7,18 y 8,38, sin diferencia significativa entre las épocas estacionales. Según los lineamientos de la OPS (29) el agua de bebida debe tener un pH por debajo de 9. Además, se determinó el OD en el agua que es un indicador empleado para medir el grado de contaminación; un nivel alto de OD indica agua de mejor calidad (30). La materia orgánica es biodegradada a sustancias más sencillas por procesos naturales en presencia de organismos acuáticos (bacterias y hongos). Aquí juega un rol fundamental el OD en el agua porque estos organismos lo necesitan para vivir y para producir los fenómenos de biodegradación. El OD que se determinó en las aguas estudiadas osciló entre 7,5 y 12,5 mg/L dependiendo del lugar de muestreo, siendo el rango de valor aceptable entre 6 y 8 mg/L (30).



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



Otro aspecto a considerar para la potabilidad del agua de consumo es su composición iónica mayoritaria (Fig. 4) y de elementos traza (F^- , NO_3^- , Si, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As y Se). Los resultados demostraron que a excepción del ión F^- , que se encontró por encima del valor recomendado en todas las muestras analizadas, el resto de los elementos traza y la composición iónica mayoritaria de las aguas se encontró dentro de los valores normales.

Figura 4. Porcentaje de distribución de los componentes mayoritarios en muestras de agua de zonas aledañas a la comuna de Charbonier.

Para analizar la variación estacional del F⁻ se compararon las concentraciones obtenidas en las dos épocas de muestreo. La figura 5 muestra claramente el efecto de la estacionalidad en la distribución de las precipitaciones; las concentraciones de fluoruro son más elevadas en el período seco (otoño).



Figura 5. Concentración de fluoruro (mg/L) en muestras de agua de zonas aledañas a la comuna de Charbonier, en dos épocas estacionales.

En la figura 6 se muestra la concentración de fluoruro, tanto de aguas superficiales como subterráneas. Se observa que las nacientes de los ríos (en el este) presentan menores concentraciones de este ión; lo mismo ocurre con las muestras tomadas en el Río Calabalumba. Sin embargo, en cercanías del poblado de Charbonier las muestras que corresponden al Río Seco, el arroyo Charbonier y a los pozos presentan un importante aumento en sus valores.

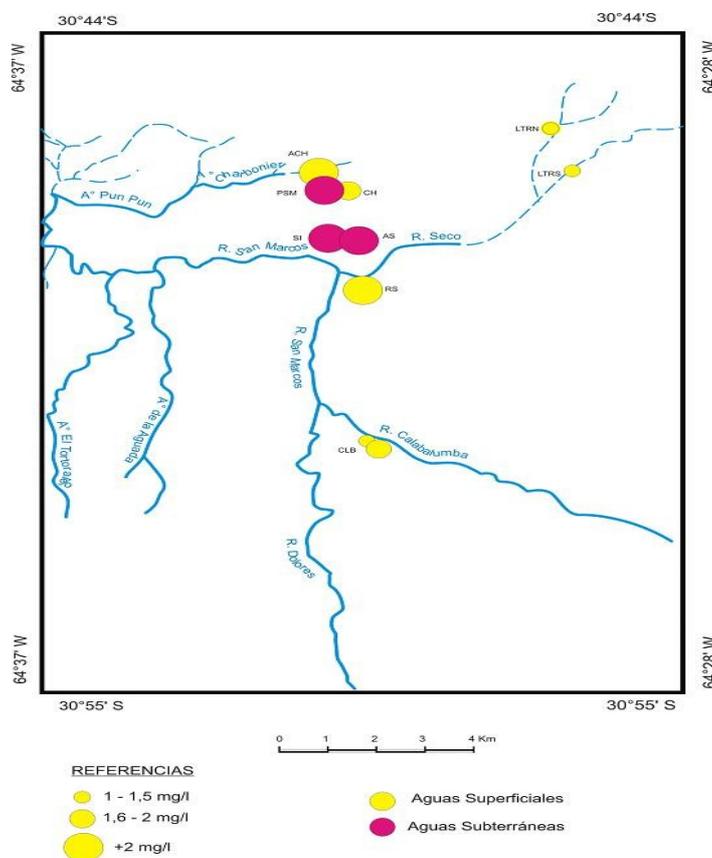


Figura 6. Variación espacial de los contenidos de fluoruro en aguas superficiales y subterráneas de zonas aledañas a la comuna de Charbonier.

De los resultados obtenidos se infiere que aún cuando las aguas recolectadas en el área de estudio reúnen las condiciones físico-químicas para ser empleadas como agua de consumo, presentan una concentración de fluoruro que supera los límites recomendados por la OMS de 1 mg/L (29-32). Por lo tanto, la estrategia de abastecer a la población de agua segura de otras fuentes, diferentes a las que se usan en la actualidad, no puede ser implementada.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



Las determinaciones realizadas permiten, además, caracterizar geoquímicamente las aguas superficiales y subterráneas de la zona con especial atención en aquellos parámetros que controlan la geoquímica del flúor. Estos datos son importantes para evaluar posibles métodos de remoción de flúor en el agua de bebida.

Desfluoridación del agua de bebida

Origen de los suelos arcillosos:

Para conocer cuales son los suelos arcillosos que poseen capacidad adsorbente sobre el ión fluoruro presente en el agua, se recolectaron tres muestras obtenidas de diferentes puntos cercanos a la comuna, a fin de facilitar su disponibilidad para una eventual utilización. Una muestra de suelo arcilloso blanco (AB) fue obtenida a 2 km al este de la comuna de Charbonier (Lat. S 30°46.927', Long. O 64°34.578', 784 msnm). Las otras muestras de color rojo (AR) se obtuvieron: una en la misma comuna (AR-1, Lat. S 30°46.555', Long. O 64°32.622', 867 msnm) y otra en el paraje Quebrada de Luna a 5 km al sur de la comuna (AR-2, Lat. S 30°46.386', Long. O 64°29.437', 1063 msnm).

Eficiencia en la adsorción de fluoruro por el suelo arcilloso:

Al estudiar la adsorción del fluoruro de los suelos arcillosos, se encontró que la misma fue proporcional al tiempo de contacto con el agua, a la cantidad de suelo arcilloso colocado y al proceso de agitación. En la figura 7 se observa la mayor eficiencia de adsorción de la muestra AR-1 (36%) respecto a AR-2 (17%) y a AB (12%), comparando una muestra de 10 g de cada suelo arcilloso durante 30 min en contacto con el agua a desfluorar.

Figura 7. Eficiencia de adsorción de fluoruro de 3 suelos arcillosos: 10g de suelo en contacto con 200 ml de agua (2,5 mg/L fluoruro) durante 30 min. Los porcentajes son el promedio de muestras por duplicado.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



La figura 8A muestra que la cantidad de suelo arcilloso AR-1 como así también el tiempo de contacto entre el agua a desfluorar y el suelo no modificaron la capacidad de adsorción de fluoruro. Sin embargo, se observa un incremento en la capacidad de adsorción de este ión cuando el sistema es sometido a una agitación controlada (Fig. 8B), situación que simula el efecto que produce el agua al ingresar a un sistema de filtración.

Figura 8. Eficiencia del suelo arcilloso AR-1 en la adsorción de fluoruro del agua, sin agitación (A) y con agitación controlada (B), al colocar 60 y 80 g de suelo con 200 ml de agua con una concentración de fluoruro de 2,5 mg/L, durante 15, 30, 60 y 120 min. Los valores son el promedio de muestras procesadas por duplicado.

Caracterización química de AR-1:

Mediante pruebas cualitativas se identificaron en las fracciones de la muestra AR-1 los cationes Ca^{+2} y/o Mg^{+2} , el anión CO_3^{-2} y HCO_3^{-1} y el anión Cl^{-1} . No se pudo identificar mediante las técnicas utilizadas la presencia de iones Fe^{+3} .

Capacidad de desfluoridación del suelo arcilloso AR-1 y calidad del agua (prueba de contacto):

La capacidad total de adsorción por gramo de AR-1 fue de 0,021 mg fluoruro. En base a estos resultados, la utilización de 400 g de suelo AR-1 permitiría desfluorar 5 L de agua con una concentración inicial de 2,5 mg/L de fluoruro, para obtener agua con una concentración final de 1 mg/L. El estudio de algunos parámetros relacionados a la calidad del agua

desfluorada como pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos permitió determinar que sólo la relación 20 g de suelo arcilloso/ 200ml de agua a desfluorar es similar a los valores de agua de la comuna, previo contacto con el suelo arcilloso (Tabla 1).

Tabla 1: Calidad físico-química del agua desfluorada. Los valores son el promedio±DS de 5 determinaciones en el agua (200 ml) de la comuna, antes y después de ser desfluorada con 20, 60 y 80 g de AR-1.

Muestra	pH	Conductividad (micro Siemens/cm)	Sólidos totales disueltos (ppm)
Agua de la Comuna	7,9±0,10	549± 45	274±23
Agua desfluorada con AR-1			
20 g / 200 ml	8,2±0,20	428±75	214±42
60 g / 200 ml	8,4±0,10	1317±50	658±25
80 g / 200 ml	8,2±0,1	2336±90	1168±30

Diseño del filtro domiciliario para remover el fluoruro del agua:

El diseño final del dispositivo de filtración domiciliar se muestra en la figura 9, cuyo costo no superó los \$ 50,00. El área de filtración lograda fue de 108 cm². El volumen total del filtro fue de 1200 ml y la fracción ocupada por el “material adsorbente” (suelo arcilloso) de 800 ml. El rango de caudal durante la “carrera” del filtro (filtro funcionando a presión de agua domiciliar) permitió una regulación de 0 a 6 L/h. Por encima de este caudal, la elevada presión de agua dentro del filtro provocó pérdidas y la aparición de turbidez en el filtrado. El dispositivo permitió una buena mezcla del material adsorbente con el agua y el tiempo de contacto se estableció mediante la canilla reguladora de flujo. Para lograr un tiempo de contacto de 30 a 60 min de la mezcla se reguló el caudal a 1,2 L/h. La concentración de fluoruro y la calidad del agua filtrada fueron similares a lo hallado con las pruebas de contacto.

El estudio de materiales que se ajusten al concepto de “tecnología apropiada” demostró que la única “membrana” que permitió eliminar la turbidez de la mezcla agua:suelo arcilloso fue el “fieltro de lana”. No obstante, su uso afectó una de las propiedades organolépticas del agua filtrada, el sabor. Los componentes propios de la lana (especialmente la lanolina o grasa de oveja) pudo ser removida hasta lograr condiciones organolépticas aceptables mediante dos lavados sucesivos del fieltro en una mezcla de etanol:acetona (1:1) a 40° C, durante 30 min cada uno (33). Posteriormente se recuperaron los solventes por destilación y

se obtuvo un residuo constituido por fibras y lanolina. Las propiedades como membrana filtrante no fueron afectadas por este procedimiento.

La vida útil de la “membrana de filtración” no fue alterada por saturación en los tiempos estudiados. Se evaluó también la reutilización de la membrana, luego de cambiar el material de relleno, lavándola con agua corriente a presión en el sentido inverso al de la filtración. Posteriormente, se cargó el filtro con nuevo material adsorbente obteniendo los mismos resultados de caudal y condiciones de filtrado que en la oportunidad anterior. Los resultados indicaron que la membrana de filtración puede utilizarse al menos para dos cargas de material adsorbente en el filtro, previa limpieza de la misma. En caso de saturación u otras modificaciones de la membrana (no determinada en este estudio), su reposición posee un costo aproximado de \$10,00.

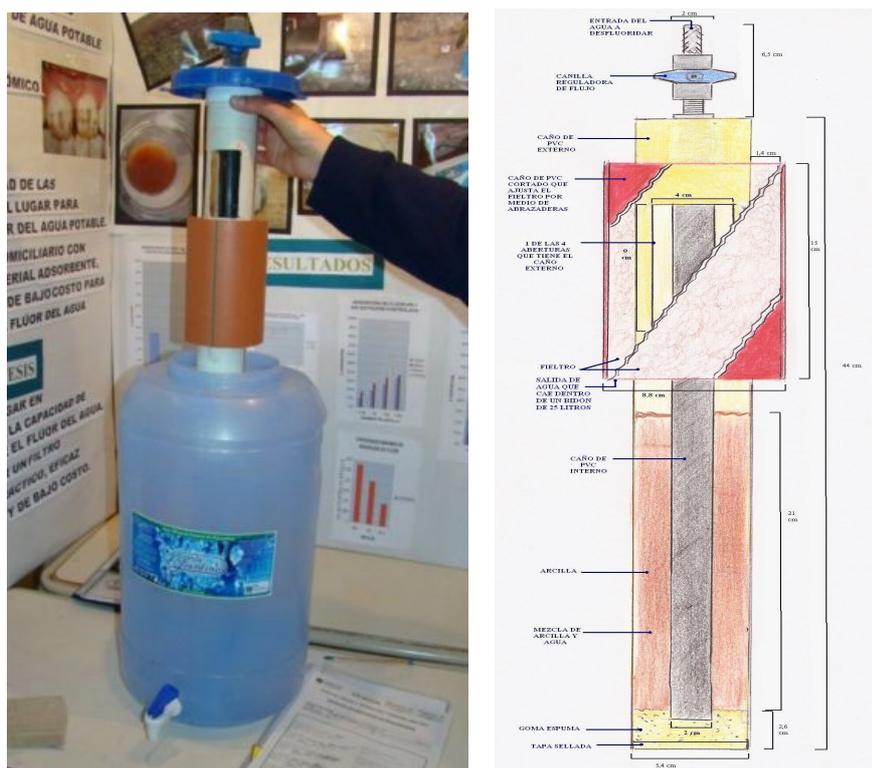


Figura 9. Diseño (izquierda) y representación esquemática (derecha) de los componentes del dispositivo de filtración domiciliaria.

El uso del suelo arcilloso AR-1, que se encuentra en la comuna de Charbonier, permite desfluorar el agua para alcanzar la concentración recomendada por la OMS (1 mg fluoruro/L).



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



Los componentes del suelo se dividen físicamente por tamaño: piedras (entre 2 y 5 cm de diámetro), grava (entre 0,2 y 2 cm), arenas gruesas y finas (entre 0,05 y 2 mm), y los limos (arenas microscópicas, entre 0,002 y 0,05 mm) (34). Solamente los limos pueden tener propiedades adsorbentes de fluoruro ya que poseen óxidos de hierro y aluminio y partículas de arcilla adheridas (35, 36). Es probable que la fracción adsorbente de AR-1 se pueda utilizar en la elaboración de los filtros domiciliarios.

Como desarrollo tecnológico, es de destacar la potencial utilidad del filtro domiciliario diseñado en este trabajo. Permite una carga considerable de material adsorbente, de costo mínimo, práctico, fácil de instalar y permite regular algunas de las variables que han sido descriptas para lograr una buena adsorción de fluoruro: la mezcla del agua con el material adsorbente y el tiempo de contacto.

El filtro continuo diseñado permite regular el caudal para asegurar un tiempo de contacto óptimo entre el lecho adsorbente y el agua. En un domicilio tradicional con un tanque de agua por encima del techo de la vivienda, la carga hidráulica permite regular el filtro a un caudal de 1,2 L/h, produciendo un tiempo de contacto de 60 min, y la obtención de 29 litros de agua diarios, suficientes para abastecer de agua de bebida y para preparación/cocción de alimentos a una familia tipo (5 L de agua/persona/día), manteniendo el filtro en funcionamiento constante y recolectando el agua desfluorada en un bidón de almacenamiento.

A partir de los resultados obtenidos por otros autores, utilizando las arcillas como agentes adsorbentes de fluoruro (37-39), el filtro diseñado en este estudio es superior en cuanto a costo, practicidad y caudales logrados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Coetzee PP, Coetzee LL, Puka R, Mubenga S. 2003. *Water SA* 29: 331-338.
2. Fluoride in drinking water: A Scientific Review of EPA's Standards. 2006. <http://books.nap.edu/catalog/11571.html>
3. Loyola Rodriguez JP, Pozos Guillen AJ, Hernandez Guerrero JC, Hernandez Sierra JF. 2000. *Salud Pública Mexicana* 42(3).
4. Burt BA, Eklund SA. *Dentistry, dental practice and the community*, 4th ed. Philadelphia: WB Saunders; 1992, p. 147.
5. Fejeskov O, Baelum V, Manji FM. *Dental fluorosis: a handbook for health workers*. Copenhagen: Munksgaard; 1988, p. 40-42.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



6. Browne D, Whelton H, O'Mullane. Fluoride metabolism and fluorosis. 2005. *Journal of Dentistry* 33:177-186.
7. Weeks KJ, Milsom KM, Lennon MA. Enamel defects in 4 to 5 year-old children in fluoridated parts of Cheshire, UK. 1993. *Caries Research* 27: 317-320.
8. Warren JJ, Levy SM, Kanellis MJ. Prevalence of dental fluorosis in the primary dentition. 2001. *Journal of Public Health Dentistry* 61: 87-91.
9. Mann J, Mahmoud M, Ernest M, Sgan-Cohen H, Shosshan N, Gedalia I. Fluorosis and dental caries in 6-8 year-old children in a 5ppm fluoride area. 1990. *Community Dentistry and oral Epidemiology* 18: 77-79.
10. Milsom KM, Woodward M, Haran D, Lennon Ma. Enamel defects in the permanent dentition of 8- and 9- year-old children in fluoridated Cheshire, England. 1996. *Journal of Dental Research* 75: 1015-1018.
11. Dean HT, Arnold FA, Jay P, Knutson JW. Studies on mass control of dental caries through fluoridation of the public water supply. 1950. *Public Health Report* 65:1403-1408.
12. Charbonier. Del Fuerte de la Escoba a la Estación del Ferrocarril. Historias Populares Cordobesas. Comuna de Charbonier. Argentina. Imprenta Lotería de Córdoba SE. 2006.
13. Cartas geológicas del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).
14. Bureau of Preventing Epidemic Diseases. Bulletin of preventing epidemic fluorosis. Chinese Health Ministry, Center for Prevention and Research on Epidemic Disease of China, Haerbin 1991; 67-80.
15. UNEP-FAO-WHO. Guideline for the study of dietary intake of chemical contaminants. World Health Organization WHO, Geneva 1985; 87: 20-22.
16. Horowitz HS, Driscoll WS, Meyers RJ, Heifetz SB, Kingman A. A new method for assessing the prevalence of dental fluorosis the Tooth Surface Index of Fluorosis. *JADA* 1984; 109: 37-41.
17. Srimurali M, Pragathi A y Karthikeyan J (1998). A study on removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials. *Environ. Pollut.* 99: 285-289.
18. Wang Y, Reardon EJ (2001). Activation and regeneration of a soil sorbent for defluoridation of drinking water. *Appl Geochem* 16: 531-539.
19. Martínez Álvarez JR. El problema del flúor en Bélgica: ¿una nueva alarma alimentaria en Europa?. *Nutr Hosp* 2002; 6: 259-261.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



20. Burt BA. The changing patterns of systemic fluoride intake. J Dent Res 1992; 71: 1228-1237.
21. Silva M. Estimativa antropométrica [citado 2002, set]. URL: <http://www.geocities.com/HotSprings/Chalet/8999/sup10.html>).
22. Piazza L, Hogg G, Luna L, López D, Juárez C, Pereyra M, Bravino A, Gallará R, Piñas ME, Bonetto C, Ponce RH. Salud Pública y Educación: Impacto de la Fluorosis Dental en la Deserción Escolar. En: Segundo Encuentro de Innovadores Críticos. "La innovación y la investigación en la formación continua del profesorado". San Juan. Asociación de Docentes de Ciencias Biológicas de la Argentina Editor; 2009.
23. Fejeskov O, Manji FM, Baelum V. Dental fluorosis: a handbook for health workers. Copenhagen: Munksgaard; 1988.
24. Browne D, Whelton H, O'Mullane. Fluoride metabolism and fluorosis. J Dent 2005; 33 (3): 177-186.
25. Weeks KJ, Milsom KM, Lennon MA. Enamel defects in 4 to 5 year-old children in fluoridated parts of Cheshire, UK. Caries Res 1993; 27: 317-320.
26. Warren JJ, Levy SM, Kanellis MJ. Prevalence of dental fluorosis in the primary dentition. J Public Health Dent 2001; 61 (2): 87-91.
27. Mann J, Mahmoud M, Ernest M, Sgan-Cohen H, Shosshan N, Gedalia I. Fluorosis and dental caries in 6-8 year-old children in a 5ppm fluoride area. Community Dent Oral Epidemiol 1990; 18 (2): 77-79.
28. Milsom KM, Woodward M, Haran D, Lennon Ma. Enamel defects in the permanent dentition of 8- and 9- year-old children in fluoridated Cheshire, England. J Den Res 1996; 75 (84): 1015-1018.
29. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. OPS/CEPIS/05.167 UNATSABAR. 2005.
30. Lenntech. Agua residual & purificación del aire (2008). Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M 2629 HH Delft, Holanda España México Estados Unidos Chile Perú Argentina. URL: <http://www.lenntech.com/espanol/Por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>.
31. Cotruvo, J. Aspectos de Salud Relacionados con la Presencia de Calcio y Magnesio en el Agua Potable. A G U A L A T I N O A M É R I C A volumen 6, número 3 (2006). <http://www.agualatinoamerica.com>.



INTEGRACION,
EXTENSION,
DOCENCIA
E INVESTIGACION
PARA LA
INCLUSION
Y COHESION
SOCIAL

22 AL 25
NOVIEMBRE
DE 2011
SANTA FE
ARGENTINA



32. Ground Water & Drinking Water. Environmental Agency Protection (2009).
<http://www.epa.gov/safewater/standards.html>.
33. Jin J (2006) A Study of the Effect of Grease Content on Staple Strength. A report for IWTO. Accesible en Agosto 2010 en: www.iwto.org/Projects/ISEP/2006/Report_Jun_Jin.pdf
34. Navarro Blaya S, Navarro García G (2003). Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ed. Mundi-Prensa, Cap. III, pág. 33-51.
35. Srimurali M, Pragathi A y Karthikeyan J (1998). A study on removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials. Environ. Pollut. 99: 285-289.
36. Wang Y, Reardon EJ (2001). Activation and regeneration of a soil sorbent for defluoridation of drinking water. Appl. Geochem. 16: 531-539.
37. Coetzee PP, Coetzee LL, Puka R, Mubenga S (2006). Characterisation of selected South African clays for defluoridation of natural waters: Water SA 29 (3): 331-339.
38. Moges G, Zewege F, Socher M (1996). Preliminary investigations on the defluoridation of water using fired clay chips. J. Afr. Earth Sci. 21 (4): 479-482.
39. Pradip KG, Ruby B (2008). Fluoride removal from water by adsorption on acid activated kaolinite clay. Indian Journal of Chem. Technol. 15: 500-503.