

## **“Desarrollo de un sistema de tratamiento para la remoción de flúor del agua mediante el uso de vetiver *Vetiveria zizanioides* L., en Guarataro, Yaracuy, Venezuela”.**

C. Ruiz (Postgrado Ingeniería Agrícola, Universidad Central de Venezuela), yrui@asigloxxi.org.ve, O.Luque (Proyecto Vetiver Fundación Empresas Polar) oluque1@cantv.net, O. Rodríguez (Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela) rodriguez@agr.ucv.ve y M. Alarcón (Centro de Investigación de Materiales Avanzados CIMAV, México) teresa.alarcon@cimav.edu.mx

Palabras claves: flúor / tratamiento de aguas / fitorremediación / *Vetiveria zizanioides* / hidropónico

### **1 INTRODUCCIÓN:**

En algunas áreas la problemática de la presencia de elementos químicos en las aguas de consumo ha causado contaminación de las mismas especialmente en las aguas subterráneas, estos elementos químicos en altas concentraciones crean riesgos potenciales a la salud pública y en muchos casos causan el abandono de las fuentes de suministro de agua. Dentro de los elementos químicos que pueden causar contaminación a las aguas se encuentra el flúor, el cual ha causado serios problemas a plantas, animales y a la salud de las personas en muchas partes del mundo especialmente en la India, China y México (Díaz *et al.*, 1997, Shivashankara *et al.*, 2000 y Alarcón *et al.*, 2001). En Venezuela a pesar de que se han reportado pocos casos de contaminación de aguas con este elemento, existe una comunidad en el estado Yaracuy que ha venido presentado serios problemas de esta naturaleza, especialmente causando daños a la salud pública debido al consumo de estas aguas sin previo tratamiento (Instituto Autónomo de Salud Pública, PROSALUD, 2000).

Las aguas de la comunidad de Guarataro, estado Yaracuy presentan una concentración del ión flúor de  $3.54 \text{ mgL}^{-1}$ . Estas altas concentraciones que sobrepasan el límite establecido por la norma, en conjunto con otros factores, ha originado en la población la presencia de fluorosis dental, caracterizada por lesiones dentarias constituidas por alteraciones del esmalte y en algunos casos lesiones gingivales y alveolares. Según datos epidemiológicos aportados por la Oficina de Salud Oral del estado Yaracuy (2000), demuestran que el 93% de los habitantes de la comunidad de Guarataro, presentan signos clínicos con cierto grado de severidad de fluorosis dental. El 93% de la población de esta comunidad presenta daños de fluorosis dental, especialmente los niños en edad escolar

En la actualidad los métodos más utilizados para la remoción del flúor en el agua en muchos países, son los procesos físicos y químicos, entre los cuales se pueden mencionar: Intercambio de iones/ adsorción, precipitación, electrodiálisis, osmosis inversa, nanofiltración, entre otros (Mazet, 2002). Estos métodos resultan muy costosos debido a la utilización de gran cantidad de compuestos químicos y electricidad.



Joven de la Población de Guarataro, afectado por Fluorosis

En este proyecto se estudió la posible remoción del flúor del agua contaminada utilizando pasto vetiver, en la comunidad de Guarataro, estado Yaracuy, con ello, se pretende contar con una alternativa de tratamiento para reducir los niveles de flúor del agua de abastecimiento a la población, y limitar la exposición y riesgo por esta vía a dicho elemento, permitiendo así que los habitantes de esta comunidad tengan una mejor calidad de vida.

El uso del pasto vetiver constituye una herramienta importante ya que se ha demostrado a través de diversos estudios que esta planta puede remover contaminantes ya que por sus características morfológicas y fisiológicas, es altamente tolerante a condiciones extremas incluyendo la contaminación por metales pesados y otros contaminantes (Truong y Baker, 1998). El uso del vetiver para remover contaminantes (metales pesados, aguas servidas, entre otros) es de bajo costo, ecológico y una herramienta de fitorremediación para el control y la atenuación de la contaminación (Truong, 2000).

### **1.1 Objetivo General:**

El objetivo general del trabajo fue Analizar la aplicabilidad del pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) dentro de un sistema de tratamiento de agua para la remoción de flúor, en la comunidad de Guarataro, estado Yaracuy.

### **1.2 Hipótesis:**

“El pasto vetiver manejado bajo el concepto de cultivo hidropónico, por su alta capacidad de absorber diversos elementos químicos permite el desarrollo de un sistema eficiente de tratamiento de agua para la remoción de flúor”.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS:

### Localización del estudio:

El estudio se llevó a cabo en la comunidad de Guarataro, parroquia San Javier del municipio San Felipe, estado Yaracuy, Venezuela. La zona de Guarataro se encuentra a 95 msnm y sus coordenadas son: 10° 21' 8'' de latitud Norte y 68° 35' 31'' de longitud Oeste (Fuente propia).

Se tomó agua cruda de la fuente de abastecimiento de agua de la población de Guarataro, éstas son aguas provenientes de pozos (aguas subterráneas) a las cuales no se les realiza ningún tratamiento previo para su consumo.

Se simuló un sistema de tratamiento hidropónico, se utilizaron cinco (5) recipientes de 200 litros cada uno, en ellos se colocó una planta de vetiver, macollas de aproximadamente un (1) año de edad. Las plantas fueron establecidas con un sencillo sistema de flotamiento con botellas plásticas. Para el tratamiento control (sin plantas) también se instalaron cinco (5) recipientes expuestos a las mismas condiciones. El agua contaminada con el elemento flúor proveniente del pozo que abastece a la comunidad, se colocó en un tanque buffer, éste surtió tanto al sistema vetiver como al tratamiento control o testigo.

Las plantas de vetiver se sembraron en marzo de 2005, las raíces tenían un largo aproximado de 30 cm. de longitud al inicio del experimento en campo.



Sistema Vetiver hidropónico al lado  
tambores testigos sin plantas.

Cuadro 1. Características físico- químicas del agua proveniente de los pozos subterráneos de la comunidad de Guarataro (Hidroven, 2001):

Parámetro	
Aspecto	Claro
Temperatura	30° C
pH	7,5
Fluoruro	3,57 mgL <sup>-1</sup>
Alcalinidad Total	292 mgL <sup>-1</sup>
Dureza cálcica	280 mgL <sup>-1</sup>
Dureza magnésica	20 mgL <sup>-1</sup>
Dureza total	300 mgL <sup>-1</sup>
Calcio	112 mgL <sup>-1</sup>
Magnesio	4,8 mgL <sup>-1</sup>
Carbonatos	0,0 mgL <sup>-1</sup>
Bicarbonatos	356, 2 mgL <sup>-1</sup>
Cloruros	16 mgL <sup>-1</sup>
Sulfatos	67,5 mgL <sup>-1</sup>
Nitritos	0,003 mgL <sup>-1</sup>
Hierro	0,08 mgL <sup>-1</sup>
Manganeso	0,0 mgL <sup>-1</sup>

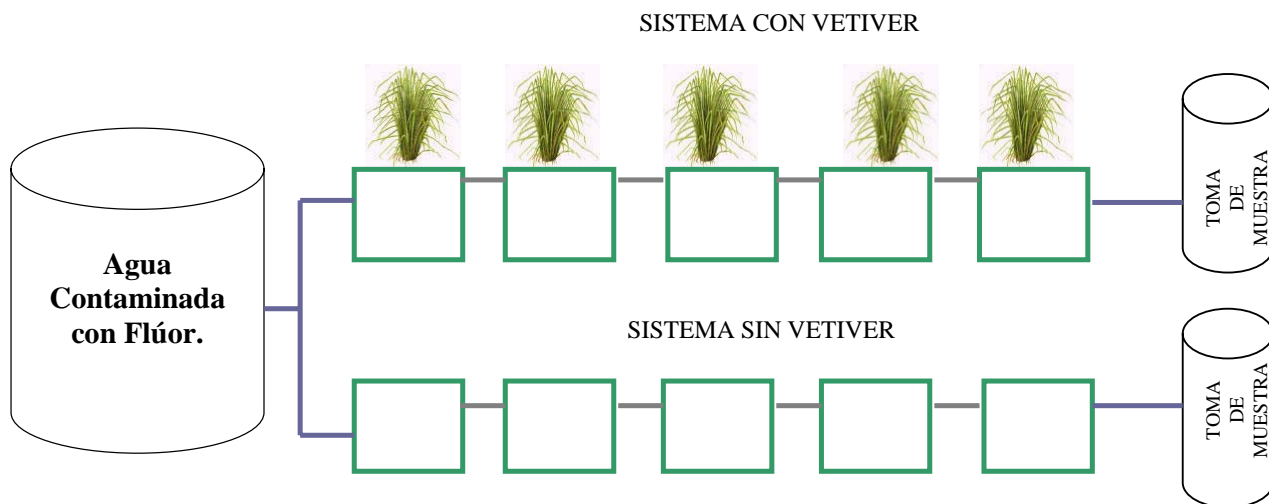


Figura 1. Esquema del sistema de tratamiento de aguas contaminadas con flúor con pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.).

## **Sistema Vetiver-Testigo**

### **Muestreo:**

Se realizaron cinco (5) muestreos desde el mes de marzo de 2005, hasta el mes de enero de 2006. El muestreo de agua se realizó en el afluente y efluente del sistema para poder determinar por medio de los parámetros a evaluar la eficiencia del sistema vetiver y de esta manera poder comparar con el tratamiento control.

### **Captación de muestras:**

Los parámetros de calidad del agua que se evaluaron son los siguientes:

- Determinación del ión flúor
- pH
- Temperatura
- Conductividad eléctrica
- Sólidos suspendidos
- Nitratos y fósforo

A la planta de Vetiver se le realizó análisis químico del tejido (raíces y parte aérea) antes de iniciar el ensayo y al final de cada tratamiento, esto se hizo con la finalidad de comparar la condición del pasto antes y después de ser sometido al tratamiento de aguas contaminadas con flúor y poder determinar como la planta de vetiver absorbe el contaminante, el único análisis químico que se midió fue el contenido del ión flúor. Se tomaron cinco muestras tanto de raíces como del follaje, en diferentes meses desde el mes marzo de 2005. Luego estas muestras se mezclaron entres sí, esto debido al alto precio de los análisis. El método utilizado para medir el contenido de fluoruro fue el Calorimétrico (SPADNS) y el equipo utilizado fue el Espectrofotómetro de Lectura Directa DR/2010.

También se midió la altura de planta del vetiver y de las raíces, desde el mes de marzo de 2005 que se inició el experimento hasta el mes enero de 2006 fecha que culminó el ensayo.

Los análisis físico-químicos del agua, se realizaron en el laboratorio de Calidad de Aguas de la Fundación CIEPE, ubicado en San Felipe, estado Yaracuy y en el Laboratorio de Aguas de Fundación Polar ubicado en Caracas, Distrito Capital. Los análisis químicos del tejido de la planta de vetiver se realizaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y en el Instituto de Malariología del Ministerio de Salud. Ambos ubicados en Maracay, estado Aragua

### 3 RESULTADOS:

#### 3.1 Análisis de los Indicadores físicos y químicos evaluados:

##### 3.1.1 Fluoruro:

Se realizó un primer análisis a los dos meses de instalado el sistema de tratamiento con vetiver. Se puede observar en la figura 2 que hubo una leve reducción de los niveles de flúor en el agua de  $2,72 \text{ mgL}^{-1}$  a  $2,22 \text{ mgL}^{-1}$  en el sistema con vetiver. Estos resultados demuestran que la planta vetiver ejerció una pequeña respuesta a los niveles de fluoruro en el agua que se estaba tratando.

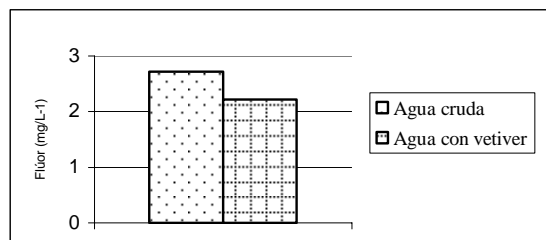


Figura 2. Valores de Flúor del Agua Cruda y el Sistema con Vetiver

Luego se hicieron análisis posteriores en el sistema de tratamiento de aguas contaminadas con flúor, tanto en el sistema con vetiver como en el tratamiento testigo, desde el mes de junio de 2005 hasta enero de 2006. Los resultados muestran que no hubo reducción del contaminante en el agua tanto en el sistema con vetiver ni en el sistema sin vetiver (Figura 3 y 4). Sin embargo, se puede notar que para el mes de Enero de 2006 una reducción de los niveles de flúor en el agua.

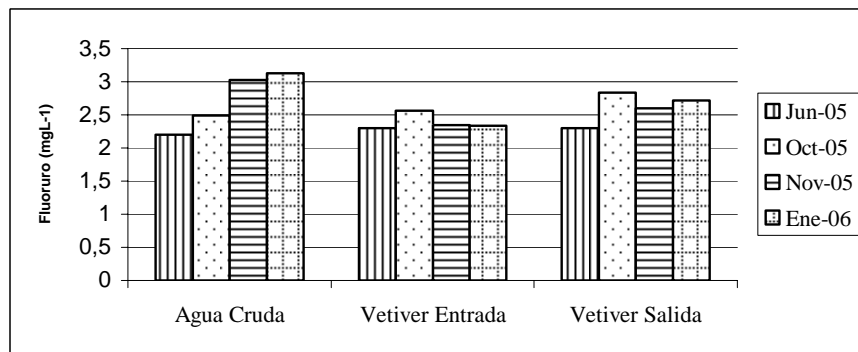


Figura 3. Valores de Fluoruro en el sistema con vetiver.

En el sistema sin vetiver (testigo), los niveles de fluoruro se mantienen en un promedio de  $2,79 \text{ mgL}^{-1}$ , lo que indica que el contaminante se mantiene alto en relación al agua cruda.

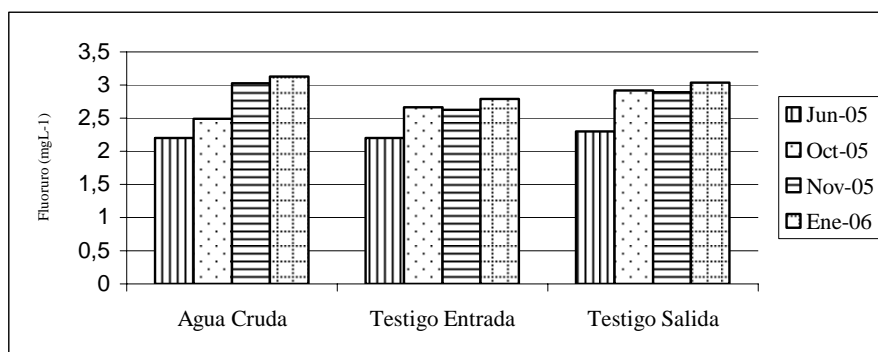


Figura 4. Valores de Fluoruro en el sistema sin vetiver.

### 3.1.2 Nitratos:

Se ha demostrado a través de numerosos estudios que el vetiver reduce considerablemente los niveles de este elemento en el agua contaminada (Truong *et al*, 2003 y Scavo, 2004). En este experimento se midieron los niveles de nitrato en el agua cruda y en el sistema con vetiver. Se puede observar en la figura 4, que hubo una reducción del mismo de aproximadamente un 100%, es decir se redujo de 8,8 mgL<sup>-1</sup> hasta llegar a niveles de cero. Estos resultados comprueban los estudios encontrados por otros investigadores, los cuales señalan que la planta vetiver disminuye los niveles de nitratos en el agua y lo acumula en sus tejidos (raíz y follaje).

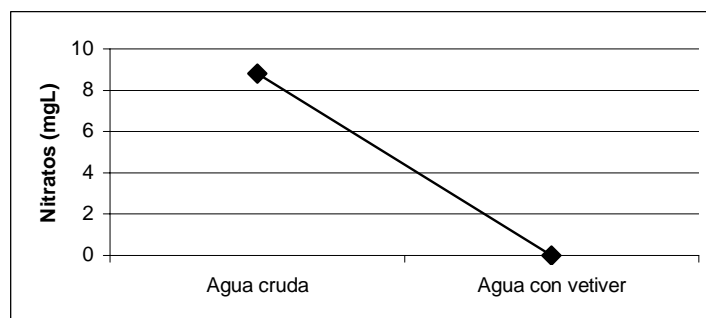


Figura 5. Valores de nitrato del agua cruda y el tratamiento con vetiver.

### 3.1.3 Fósforo:

Estudios demuestran que la planta vetiver absorbe fósforo al igual que nitratos. En este ensayo se determinó el nivel de fosfatos en el sistema de tratamiento de aguas contaminadas con fluoruro.

En la figura 6, se observa que los niveles de fósforo encontrados en el sistema con vetiver aumentan considerablemente en relación a los valores encontrados en el agua cruda, estos valores son inexplicables, pues obviamente el fósforo aumentó dentro del sistema, una

posible causa pudo haber sido la presencia de animales acuáticos favorecidos en su crecimiento por este micro-ecosistema, que pudieran haber causado este desequilibrio en los análisis. Sin embargo para el segundo muestreo en el mes de noviembre, los niveles de fósforo disminuyen considerablemente a  $4,9 \text{ mgL}^{-1}$ , hasta llegar hasta niveles de cero para el mes de enero de 2006.

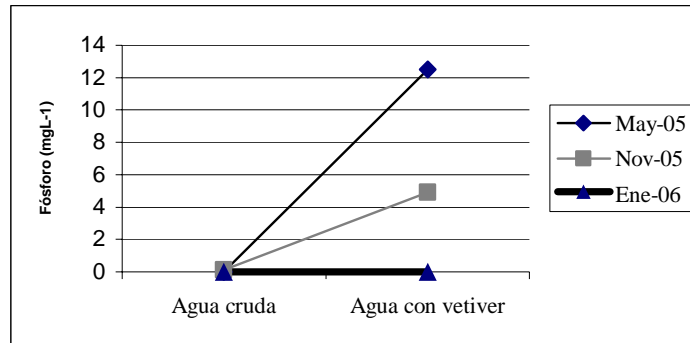


Figura 6. Valores de fósforo del agua cruda y el sistema con vetiver para diferentes meses.

### 3.1.4 Conductividad eléctrica:

En la figura 7, se puede notar que los valores de la variable conductividad eléctrica son mayores en el sistema con vetiver, con un promedio para los seis meses en que se midió dicho parámetro de  $1,07 \text{ dS/m.}$ , en comparación al sistema sin vetiver (testigo) el cual es de  $0,72 \text{ dS/cm.}$  Estas ligeras diferencias pueden ser debidas a la propia evapotranspiración por la presencia de la planta de vetiver lo cual contribuyó a concentrar la solución salina en el sistema con vetiver.

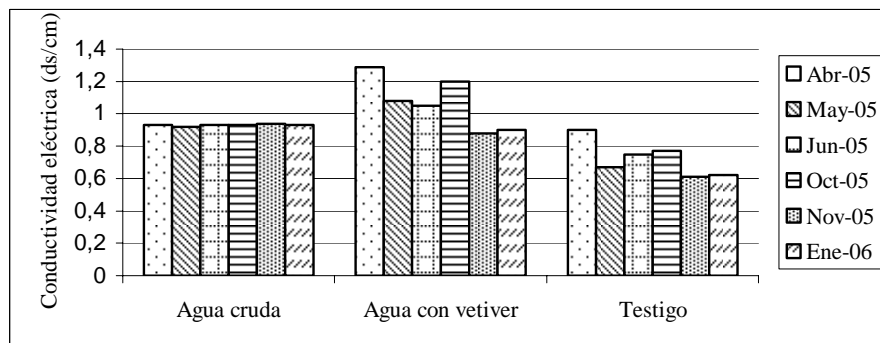


Figura 7. Valores de Conductividad eléctrica para diferentes meses.



### 3.2 Análisis Químico de Tejidos:

Se le realizaron análisis químico del tejido vegetal tanto al follaje como a la raíz de la planta vetiver. Se tomaron cinco muestras respectivamente y luego se mezclaron entre sí. Estas muestras se tomaron antes de inicial el experimento y luego en los meses de junio, octubre, noviembre de 2005 y enero de 2006.

#### 3.2.1 Follaje:

Por experiencias previas, es importante señalar que la planta vetiver absorbe nutrientes esenciales, en especial nitrógeno, fósforo y también metales pesados. La absorción de nutrientes es a niveles extremos, lo que ayuda al proceso de crecimiento en la planta (Wagner *et al*, 2003). No se tienen experiencias previas de la planta vetiver para tratar aguas contaminadas con flúor y su capacidad para absorber este elemento.

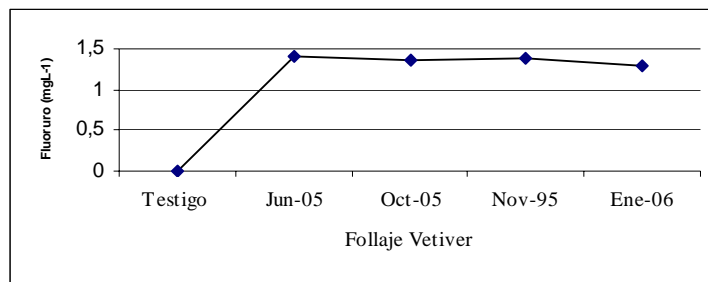


Figura 8. Valores de Fluoruro encontrados en el follaje de la planta vetiver en diferentes meses.

La Figura 8, muestra que hubo una absorción importante en el follaje de la planta, especialmente en el mes junio ( $1,41 \text{ mgL}^{-1}$ ) y en promedio para los cuatro meses fue de  $1,37 \text{ mgL}^{-1}$ . Estos resultados indican que la planta vetiver para efectos de este estudio mostró un efecto positivo para la absorción de flúor.

#### 3.2.2 Raíz:

Igual que en la parte aérea de la planta vetiver (follaje), tuvo un comportamiento similar en lo que se refiere a la absorción de flúor. Para el mes de Junio de 2005 fue la máxima absorción con un valor de  $1,45 \text{ mgL}^{-1}$  (Figura 9) siendo el promedio para las cuatro muestras de  $1,41 \text{ mgL}^{-1}$ , siendo mayor este promedio al encontrado en el follaje de la planta vetiver.

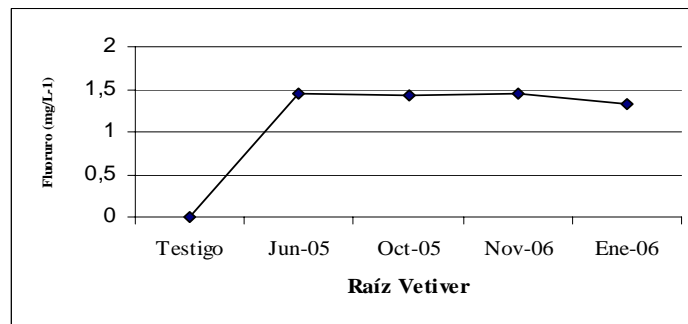


Figura 9. Valores de fluoruro encontrados en la raíz de vetiver en diferentes meses.

#### **4 CONCLUSIONES:**

Los resultados encontrados demuestran que al principio del experimento, el vetiver ejerció un efecto positivo en la reducción del flúor en el agua de consumo. Sin embargo en los posteriores análisis que se realizaron los niveles de fluoruro se mantuvieron iguales tanto en el sistema con vetiver como en el sistema sin vetiver (testigo). Los análisis químicos realizados al tejido de la planta, tanto al follaje como a las raíces, mostraron una absorción considerable de fluoruro.

En cuanto a nitratos, para efectos de este ensayo se demostró que el vetiver ejerce una función importante en la reducción de los mismos, lo cual ha sido demostrado en anteriores investigaciones.

#### **Agradecimientos:**

Queremos agradecer al financiamiento aportado por el proyecto Vetiver de Fundación Polar a través del Dr. Oswaldo Luque, principal asesor de este proyecto. Igualmente y de manera muy especial al TSU Edgar Ceballos por el apoyo brindado para la realización de este trabajo en el experimento de campo. También queremos agradecer la contribución de los profesores asesores: Dr. Oscar Rodríguez y de una forma muy especial a la Dra. María Teresa Alarcón Herrera (CIMAV, México), por sus oportunas correcciones y contribuciones para el enriquecimiento de este trabajo. Se agradece la contribución del Ing. Robert Guillen del Laboratorio Central de Empresas Polar. Un especial agradecimiento a la gente de la comunidad de Guarataro, estado Yaracuy, especialmente al Sr. Alejandro Mendoza por el apoyo brindado.

#### **LITERATURA CITADA:**

1. Alarcón, M.; I. Martín; R. Trejo y S. Rodríguez. 2001. Well water fluoride, dental fluorosis, and bone fractures in the Guadiana Valley of México. Fluoride Vol. 34, N° 2 139-149
2. Díaz, A. Navarro, M. Grijalva, M. Grimaldo, J. Loyola y M. Ortiz. 1997. Endemic fluorosis in México. Fluoride. Vol. 30 p. 233-239.
3. Hart, B., R. Cody y P. Troung. 2003. Hydroponic vetiver treatment of post septic tank effluent. Proceeding Third International vetiver conference and exhibition (IVC3). Vetiver and Water. October 6-9, 2003, Guangzhou, P.R. China
4. Instituto Autónomo de la Salud. Oficina Regional de Salud Oral. 2000. Diagnóstico de Salud de la comunidad de Guarataro. Estado Yaracuy.
5. Mazet, P. 2002. Les eaux souterraines riches en fluor dans le monde. <http://www.mpl.ird.fr/hydrologie/mevhysa/DEA%20Mazet.pdf> (5 de junio de 2003).
6. Scavo, M. 2004. Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales complementario, con pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L), provenientes de una planta de producción de gaseosas, en Villa de Cura, Estado Aragua. Trabajo de Grado *Magíster Scientiarum* en Ingeniería Agrícola. Facultad de agronomía, UCV. 70 p.

7. Shivashankara, A.; Y. Shivaraja; S. Hanumanth; P. Gopalakrishna. 2000. A clinical and biochemical study of chronic fluoride toxicity in children of Kheru Thanda of Gulbarga District, Karnataka, India. Fluoride. Vol. 33 N° 2. 66-73
8. Truong, P. y D. Baker. 1998. Vetiver Grass System for environmental protection. Tech. Bull. N° 1998/1. Pacific Rim Vetiver Network, Bangkok, Thailandia.
9. Truong, P. 2000. The Global Impact of Vetiver Grass technology on the environment. Proceedings of ICV-2, Phetchaburi, Thailand, 18-22. pp 48-56.
10. Wagner, S., P. Truong, A. Vieritz y C. Smeal. 2003. Response of vetiver grass to extreme nitrogen and phosphorus supply. Third International vetiver conference and exhibition (IVC3). Vetiver and Water. October 6-9, 2003, Guangzhou, P.R. China

**Breve Introducción al primer autor:**

Carmen Yasmín Ruiz, Ingeniero Agrónomo, estudiante a dedicación exclusiva de la Maestría en Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, estado Aragua. Ha realizado trabajos de investigación especialmente en el área ambiental y de Conservación de Suelos y Aguas. Teléfono de contacto 0412-8991891