

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL LA RIOJA**

**"ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL"**



***“TRATAMIENTO DE LÍQUIDOS RESIDUALES DOMÉSTICOS A  
TRAVÉS DE FITORREMEDIACIÓN PARA LA CIUDAD DE CHAMICAL  
– LA RIOJA”***

**Docente: Mg. Munuce Ana Cecilia -Mg. Mercado Manuel**

**Alumna: Ing. Claudia N. Quintero**

**AÑO 2019**



Quintero, Claudia N.

Tratamiento de líquidos residuales domésticos a través de fitoremediación para la Ciudad de Chamental-La Rioja / Claudia N. Quintero ; editado por Vicente Calbo. - 1a ed revisada. - La Rioja : Suyay, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: online

ISBN 978-987-48010-6-7

Título. 1. Tratamiento de Aguas Residuales. I. Calbo, Vicente, ed. II.

CDD 363.7284

ISBN 978-987-48010-6-7



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>DESARROLLO .....</b>	<b>9</b>
	2.1 <i>Descripción del Area de Estudio.....</i>	9
	2.2 <i>Planta Existente de Tratamiento de Efluente Cloacales - Ciudad de Chemical. ....</i>	10
	2.3 <i>Planta en Funcionamiento. ....</i>	13
	2.4 <i>Estado Actual de la Planta. ....</i>	16
	2.5 <i>Estudio de caso.....</i>	19
<b>3.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>4.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>42</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE LA CIUDAD DE CHAMICAL.....	10
<i>FIGURA 2. LOCALIZACION PLANTA DE TRATAMIENTO.....</i>	<i>10</i>
<i>FIGURA 3. PLANO CIUDAD DE CHAMICAL CON UBICACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO EXISTENTE. ....</i>	<i>11</i>
FIGURA 4. PLANTA GENERAL DE PLANTA EXISTENTE DE EFLUENTES CLOACALES. ....	12
FIGURA 5. CÁMARA DE REJAS PLANTA EXISTENTE. ....	14
FIGURA 6. MODULO I- LAGUNA FACULTATIVA 2. ....	14
FIGURA 7. MÓDULO II- LAGUNA FACULTATIVA 1 Y CELDA DE HUMEDALES. ....	14
<i>FIGURA 8. MÓDULO II- CELDA DE HUMEDALES FUERA DE OPERACIÓN Y S/VEGETACIÓN.....</i>	<i>15</i>
<i>FIGURA 9. MODULO II- CELDA DE HUMEDALES C/ POCA VEGETACIÓN.....</i>	<i>15</i>
FIGURA 10. MODULO II - CELDA DE HUMEDALES S/ VEGETACIÓN Y FUERA DE OPERACIÓN. ....	15
FIGURA 11. MODULO I- LAGUNA FACULTATIVA I, QUEMA DE VEGETACIÓN CH.....	16
FIGURA 12. MODULO I LAGUNA FACULTATIVA 2 SE OBSERVA QUEMA EN CH 2.....	16
FIGURA 13. MODULO II CH CON PRESENCIA DE LENTEJAS VERDES.....	17
<i>FIGURA 14. MODULO II CH CUBIERTA DE LENTEJAS VERDES.....</i>	<i>17</i>
FIGURA 15. MÓDULO II LAGUNA FACULTATIVA 1 Y CH 1.....	17
FIGURA 16. TIPOS DE FITORREMEDIACIÓN SE OBSERVA LA ZONA DE LA PLANTA.....	20
FIGURA 17. PLANTAS USADAS EN FITORREMEDIACIÓN.....	21
<i>FIGURA 18. CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES CONSTRUIDOS. ....</i>	<i>27</i>
<i>FIGURA 19. ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO LIBRE (HFS)- (2006). ....</i>	<i>28</i>
<i>FIGURA 20. ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL (HFSS). ....</i>	<i>29</i>
FIGURA 21. RIZOMAS DE VETIVER A RAÍZ DESNUDA.....	32
<i>FIGURA 22. RAÍZ DE VETIVER.....</i>	<i>34</i>
FIGURA 23. PLANTACIÓN DE VETIVER CRECIMIENTO DESPUÉS DE 5 MESES DE SEMBRADO. ....	34
FIGURA 24. PREPARACIÓN PARA PROCESO DE PROPAGACIÓN. ....	36
FIGURA 25. EXTRACCIÓN DE YEMA DE VETIVER. ....	36
FIGURA 26. ETAPAS DE MICROPROPAGACIÓN. ....	36
<i>FIGURA 27. VETIVER EN CULTIVO.....</i>	<i>37</i>
<i>FIGURA 28. VETIVERIA EN PROPAGACIÓN EN LABORATORIO BIOVIDA ....</i>	<i>37</i>
FIGURA 29. CÁMARAS DE CULTIVO VETIVER - LABORATORIO BIOVIDA.....	37
FIGURA 30. PLANTAS DE VETIVER P/ SU ACLIMATACIÓN EN VIVERO BIOVIDA. ....	38
<i>FIGURA 31. VETIVER EN BALSAS FLOTANTES EN TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES.....</i>	<i>39</i>

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO.....	18
TABLA 2. LÍMITES PERMISIBLES AL VUELCO SEGÚN CUERPO RECEPTOR- LEY N°4.741- PCIA. DE LA RIOJA....	18
TABLA 3. EFICIENCIA ANTES Y DESPUÉS DE USO DE VETIVER. ....	26
TABLA 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL. ....	30
TABLA 5. RENDIMIENTOS DE DEPURACIÓN EN HUMEDAL SUBSUPERFICIAL. ....	30
TABLA 6. REMOCIONDE CONTAMINANTES A TRAVÉS DE DIFERENTES MECANISMOS. ....	31

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua utilizada por el hombre retorna a las fuentes hídricas como agua residual sin tratar, en la mayoría de los casos, generando contaminación y disminuyendo la calidad de vida de las comunidades con sus consiguientes impactos, sociales y ambientales (Galvis et al., 2005).

A nivel global se han desarrollado distintas alternativas de tratamiento de aguas residuales con el fin de solucionar los problemas asociados a sus descargas no tratadas, la falta de información acerca del funcionamiento, operatividad y mantenimiento de dichos sistemas. La ineficaz adaptación de éstos al entorno y la capacidad local deficiente para su manejo, conducen a la implementación de sistemas inoperantes y al abandono de los existentes por parte de la comunidad (Villegas y Vidal, 2009).

Las aguas residuales domésticas son producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación.

Comúnmente se les conoce también como aguas servidas o aguas negras y la importancia de su tratamiento y descontaminación radica en la posibilidad de devolver el líquido a afluentes naturales, sin que represente un peligro para los seres vivos que tengan contacto con él. Esto constituye una forma de aprovechamiento del vital líquido, contribuyendo sobre todo en países que presentan escasez del mismo, como lo es el nuestro a la sostenibilidad ambiental.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad. El Objetivo N°6 es *Garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos*. Con el fin de garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible para todos en 2030, es necesario realizar inversiones adecuadas en infraestructura, proporcionar instalaciones sanitarias y fomentar prácticas de higiene en todos los niveles.

Si queremos mitigar la escasez de agua, es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como los bosques, montañas, humedales y ríos. También se requiere más cooperación internacional para estimular

la eficiencia hídrica y apoyar tecnologías de tratamiento en los países en desarrollo. Brindar agua y saneamiento es más que construir infraestructura gris.

Los países de la región están experimentando, con mayor o menor intensidad, problemas de menor disponibilidad del agua y mayor contaminación, derivados de factores como el crecimiento explosivo de la población, la degradación de los ecosistemas y la contaminación del medio ambiente, además de los efectos adversos del cambio climático.

Durante años, las soluciones con las que se enfrentaba el deterioro o la insuficiencia del recurso hídrico, sea cual fuera la causa, apuntaban a la inversión en obras de infraestructura (infraestructura gris). Ahora se hace necesario la incorporación como parte de la estrategia de gestión de los recursos hídricos y de mitigación de riesgos relacionados con el agua, de la denominada Infraestructura Verde (IV) o Infraestructura Natural. Siendo fundamental entender el concepto de como la IV funciona en términos de ampliar la capacidad y la vida útil de la Infraestructura Gris. Por otra parte, de potenciar la percepción que la inversión en infraestructura verde, además de ser costo-efectiva, ofrece una imagen favorable para los operadores.

El presente trabajo se centra en un análisis documental de una alternativa de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Chamental, provincia de La Rioja con el uso de humedales artificiales o construidos, a través de fitorremediación, proponiendo en este caso el uso de vetiveria gramínea (pasto), últimamente reclasificado como *chrysopogon zizanioides*.

Este trabajo se realiza con la finalidad de refuncionalizar y optimizar, la planta de depuración de efluentes cloacales existente en la ciudad de Chamental, que fuera puesta en marcha en el año 2006, y debido a una serie de factores que serán expuestos posteriormente no logro su cometido. Se busca también la posibilidad de hacer extensivo el sistema de depuración propuesto para el tratamiento de los efluentes domésticos a otras localidades de la provincia de La Rioja.

Los humedales artificiales son excelentes sistemas de tratamiento de aguas residuales, son económicamente viables, de gran capacidad para la remoción de contaminantes, reconocidos como sistemas adecuados para la depuración de la Demanda Química de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Sólidos Suspendidos (SS) y Nitritos (N), para los cuales se obtienen rendimientos superiores al 80%, siendo también eficientes en la remoción de metales, trazas orgánicas y patógenos (Sanabria, 2010).

Numerosos *sistemas naturales* están siendo considerados con el propósito del tratamiento del agua residual y control de la contaminación del agua, el interés está

basado en la conservación de los recursos asociados con estos sistemas como opuesto al proceso de tratamiento convencional de aguas residuales que es intensivo respecto al uso de energía y químicos.

La fitodepuración ocurre naturalmente en los ecosistemas que reciben aguas contaminadas y, junto a la denominada autodepuración de las aguas, ha sido el procedimiento clásico de recuperación de la calidad del agua. Este proceso ocurre tanto en humedales naturales como en humedales artificiales creados por el hombre.

Desde el punto de vista botánico, el término ‘macrófitas’ se aplica a cualquier vegetal que es visible a simple vista (herbáceas, arbustos, árboles). Por ello, los vegetales de talla visible que crecen en los humedales se denominan “macrófitas acuáticas” término que desde un punto de vista amplio englobaría plantas acuáticas vasculares (angiospermas y helechos), musgos acuáticos y grandes algas. (Fernández, Beascochea, Muñoz, Curt Fernández).

La fitodepuración puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, que provienen de las actividades humanas a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes. Es un término relativamente nuevo, acuñado en 1991.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1 Descripción del Área de Estudio**

La ciudad de Chamental es cabecera del departamento homónimo, provincia de La Rioja, en la República Argentina. Situado al Este de la Provincia; linda al Norte con el Departamento Capital, al Este con la Provincia de Córdoba, al Sur con el Departamento General Belgrano y al Oeste con el Departamento General Ángel Vicente Peñaloza. Este departamento, localizado en la "Costa Baja" de los Llanos Riojanos, se halla atravesado por la sierra de los Llanos, que da nacimiento al uadi Tirante y a numerosos arroyos que bajan desde los cerros para desaguar en el embalse Carlos S. Menem, el cual brinda el riego para las granjas aledañas como agua potable para el ejido urbano de Chamental.

Chamental está localizado, yendo por la RN38 y sus continuaciones, a una distancia de 141 km de La Rioja Capital, unos 300 km de Córdoba Capital, unos 700 km de Rosario y unos 1.000 km de la Capital Federal. Mediante la RN79 se halla a 32 km de distancia de la vecina localidad riojana de Olta.(figura 1)

Cuenta con una población de 12.929 habitantes (INDEC, Censo 2010), lo que representa un incremento del 9% frente a los 11.948 habitantes (INDEC, Censo 2001) del censo anterior, una superficie de 5.549 km<sup>2</sup>. La región de Chamental se ubica dentro de un área climática semiárida donde los procesos morfodinámicos característicos son los fluviales y eólicos. Por otro lado, las características topográficas y sismotectónicas de la región, dan lugar a agentes modeladores azonales, independientes del clima, como la gravedad y los eventos sísmicos. Estos procesos se encuentran activos actualmente en un estado de evolución constante.

La temperatura media anual es de 20°C. Con respecto al valor promedio de precipitaciones, la región se encuentra atravesada por la isohieta de 400 mm (Servicio Meteorológico Nacional, 2001) y la ocurrencia de las mismas está asociada principalmente con la generación de tormentas convectivas (Rosa, 2000).

La planta de tratamiento de efluentes cloacales se encuentra ubicada en las afueras de la ciudad en las siguientes coordenadas latitud 30° 19.847'S, longitud 66° 18.924'O. (figura2)

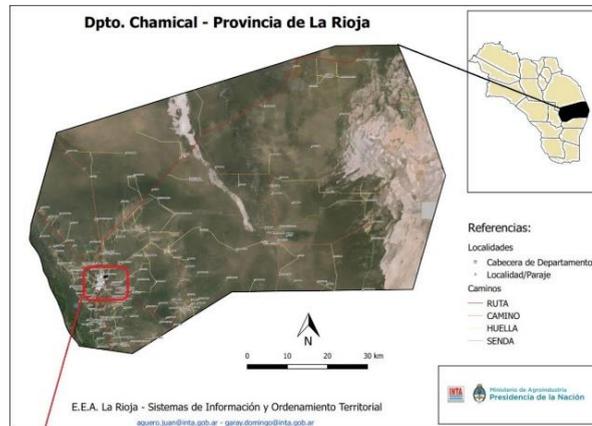


Figura 1. Mapa de la ciudad de Chamental

Fuente: <https://inta.gov.ar/proyectos/PNNAT-112803>



Figura 2. Localización Planta de Tratamiento

## 2.2 Planta Existente de Tratamiento de Efluente Cloacales - Ciudad de Chamental.

La planta de tratamiento fue construida y puesta en funcionamiento en el año 2006, adoptándose un sistema de humedales artificiales superficial de flujo libre (FWS) utilizando como pretratamiento una Laguna Facultativa.

Cuenta como tratamiento secundario, un sistema de humedal superficial de agua libre (correspondiente a las siglas en inglés FWS –Free Water Surface-), estructurado en 3 celdas en paralelo, cuyas dimensiones son: 120 m de largo, 33 m de ancho, con una pendiente del lecho no inferior al 3 ‰. El tirante líquido de operación del humedal varía entre 0,20 m a la entrada del sistema y 0,60 m a la salida.

El sistema se ubica en el mismo predio en el que se lleva a cabo el pretratamiento (lagunas facultativas), a una cota inferior respecto a ésta. (Figura 3 y 4)

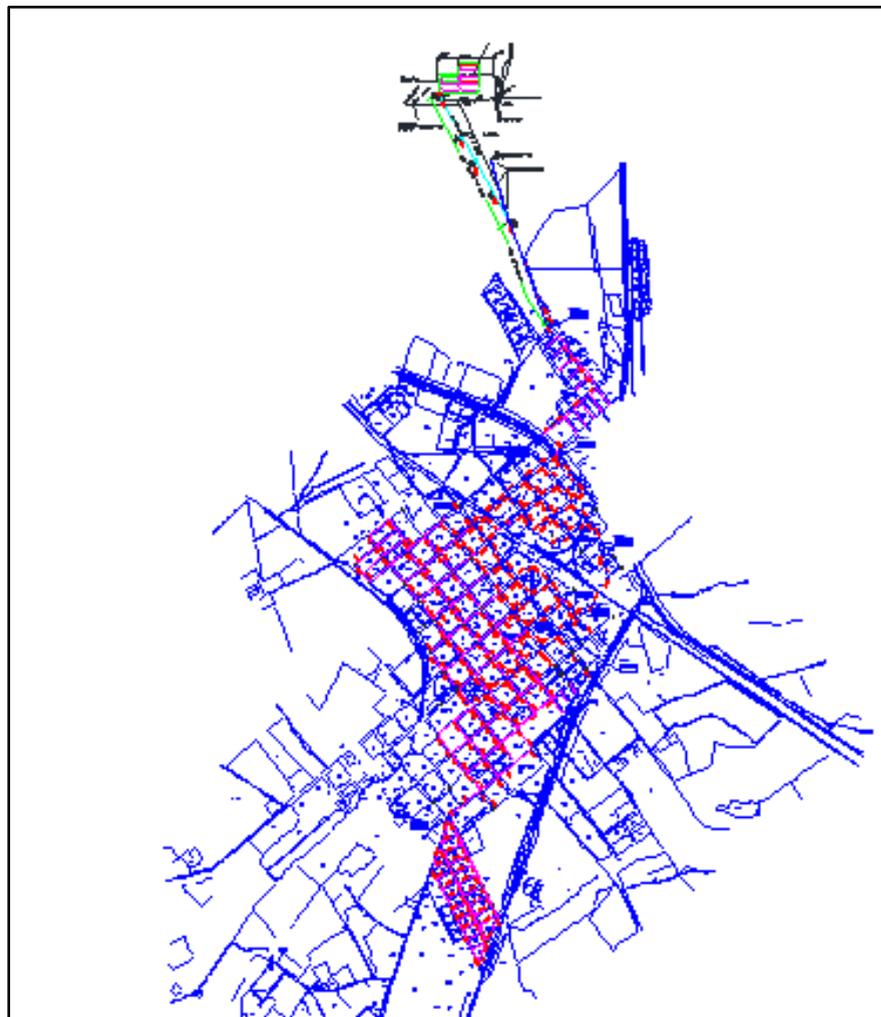


Figura 3. Plano Ciudad de Chamental con ubicación planta de tratamiento existente.

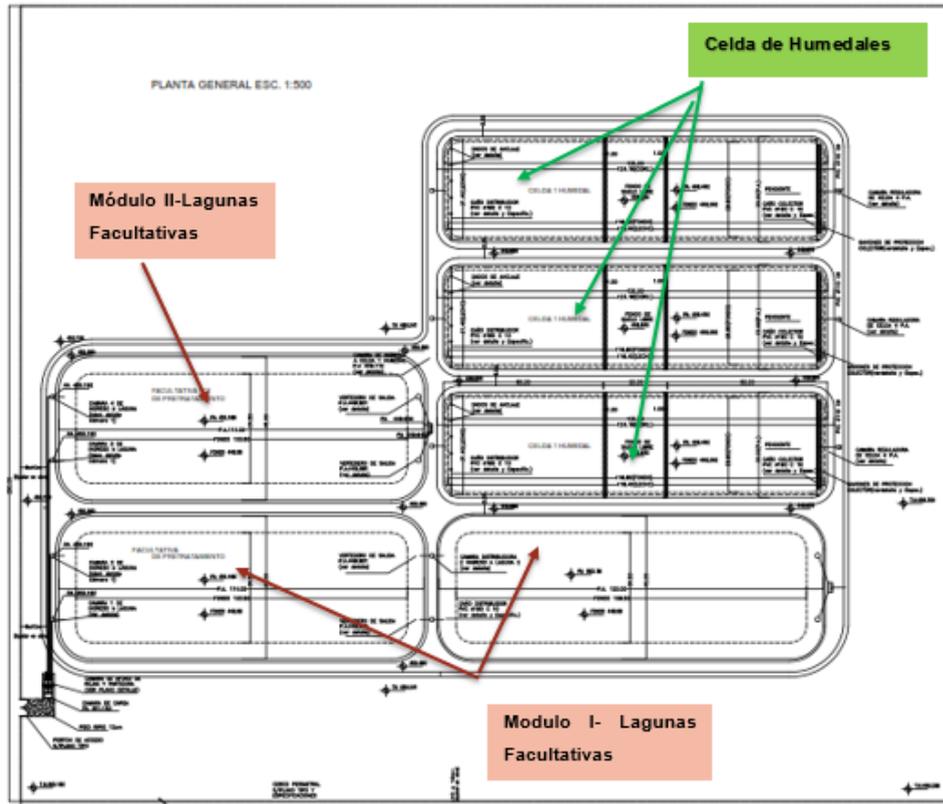


Figura 4. Planta general de Planta existente de efluentes cloacales.

Para la construcción de este sistema y atendiendo a las características texturales del suelo de la zona, se realizó la impermeabilización del fondo y taludes, con el objetivo de preservar correctamente el recurso hídrico subterráneo, evitando eventuales riesgos de contaminación.

El substrato, que se utilizó de ámbito de desarrollo de raíces y rizomas, fue el propio suelo natural. El mismo fue retirado, mediante excavación, y luego se dio paso a la impermeabilización prevista. Una vez realizado este paso, el suelo natural se reubicó y se compactó, para dar luego lugar a la plantación de los rizomas de la vegetación que actuará como fitodepurante.

El vegetal que se utilizó en el sistema corresponde a *Phragmites* spp, género botánico con especies propias de áreas bajas o inundables, de buena adaptación a las condiciones climáticas de la zona, tal es el caso de *Phragmites australis*, (carrizo) la cual se consideró para este proyecto, en virtud de su buena adaptación a los medios palustres, su facilidad para ser implantada (a través de rizomas), su hábito de crecimiento vigoroso (que permite alcanzar un buen cubrimiento en aproximadamente 1 año), la baja palatabilidad frente a la eventual presencia de animales y su amplio rango efectivo de pH.

Siendo una de las desventajas en la adopción de este tipo plantas en el proyecto, la distancia del lugar de provisión, en la Provincia de San Juan.

Tanto a la entrada del líquido al sistema como a la salida del mismo, cuenta con estructuras para garantizar las condiciones para un eficiente funcionamiento hidráulico. Esto significa, la colocación a la entrada al humedal de un difusor o distribuidor, que evite la generación de áreas muertas, mientras que en la zona de salida se colocó un colector a lo ancho de las celdas recubierto por gaviones, para evitar los riesgos de atascamientos.

De cualquier manera, se han previsto bocas de acceso en ambos extremos de cada uno de los colectores para facilitar los trabajos de desobstrucción que pudieran presentarse.

La planta de tratamiento de desagües cloacales se proyectó para toda la localidad una vez habilitada la red colectora que cubra la demanda a 20 años para una población de 13.000 habitantes, proponiendo en este caso un sistema de tratamiento que requiera menor costo inicial y permita ampliar su capacidad siguiendo el crecimiento de la demanda.

Contempla el proyecto obras complementarias, cámara de rejillas, cámaras de aforo y muestreo, cerco perimetral, etc.

Sintéticamente se puede afirmar, que el objetivo general de la construcción de la planta de depuración se orientó a lograr una mayor protección del medio ambiente y con ello, mejorar la calidad de vida en la población de la ciudad de Chamental.

### **2.3 Planta en Funcionamiento.**

Las fotos siguientes muestran la Planta de tratamiento funcionando en el año 2009, se observa el ingreso del efluente cloacal a la cámara de rejillas (figura 5), y se puede ver que el proceso de depuración se lleva a cabo en las lagunas facultativas 1° y 2° de los módulos I y II (fotos 6 y 7) quedando sin funcionar las celdas de los humedales (fotos 8, 9 y 10) por falta de caudal residual suficiente, esto debido a que no se habían conectado al sistema de la red colectora cloacal el total de usuarios previstos, lo que generó que las celdas de humedales con la vegetación (carrizos) se fuera secando y degradando con el paso del tiempo.

Con relación a este punto destacamos que al año 2006 (puesta en marcha en funcionamiento de la planta), había 120 usuarios conectados a la red colectora local,

para el año 2009 los usuarios aumentaron a 315, en cambio para el año 2018 los mismos están en el orden de 2000 conexiones.



*Figura 5. Cámara de rejas planta existente.*



*Figura 6. Módulo I- Laguna facultativa 2.*



*Figura 7. Módulo II- Laguna facultativa 1 y celda de humedales.*



*Figura 8. Módulo II- Celda de humedales fuera de operación y s/vegetación*



*Figura 9. Modulo II-Celda de humedales c/ poca vegetación*



*Figura 10. Modulo II - Celda de humedales s/ vegetación y fuera de operación.*

## 2.4 Estado Actual de la Planta.

Actualmente (año 2018), la planta está operando con los módulos I y II con sus lagunas facultativas 1 y 2, las tres celdas de humedales artificiales están funcionando como lagunas de maduración, debido a que la gran parte de la vegetación depuradora (carrizos) se secó, quedando un sector de aproximadamente 50 m<sup>2</sup> con vegetación.

Otra de las tareas que se realizaron fue desmonte y limpieza de las celdas de humedales (carrizos) secos, se alcanza a visualizar quema de la vegetación seca en (foto 11 y 12).

En las fotos siguientes se observan distintas vistas de la planta, puede verse modulo I-II lagunas facultativas y celdas de humedales (CH) (fotos13, 14 y15), con presencia de lentejas verdes generando problemas de aireación y de obstrucción en las cañerías.



*Figura 11. Modulo I- Laguna facultativa I, quema de vegetación CH.*



*Figura 12. Modulo I Laguna facultativa 2 se observa quema en CH 2.*



*Figura 13. Modulo II CH con presencia de lentejas verdes.*



*Figura 14. Modulo II CH cubierta de lentejas verdes.*



*Figura 15. Módulo II Laguna facultativa 1 y CH 1.*

En estas condiciones de operación se realizaron análisis bacteriológicos de los líquidos tratados de DBO<sub>5</sub>, DQO y Coliformes fecales y totales, se obtuvieron los siguientes valores, ver tabla 1.

Tabla 1. Resultados de análisis bacteriológico.

Fecha de Análisis 05-09-2018	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DQO (mg/l)	Colif. Fec. (NMP/100 ml.)	Colif. Tot. (NMP/100 ml.)
Entrada a Planta Depuradora - Chemical	310	477	>2400	>2400
Salida Modulo I	115	210	>2400	>2400
Salida Modulo II	85	177	>2400	>2400

Con relación a los valores permitidos al vuelco, en la provincia de La Rioja está en vigencia la Ley de Preservación del Medio Ambiente sobre la depuración y fiscalización de las descargas de los Efluentes Líquidos Industriales, Ley Provincial N°4.741/87 y su Decreto Reglamentario N°773/93. Que en forma resumida se transcribe en la Tabla 2 los límites permisibles de descarga según los distintos cuerpos receptores a que alude la citada ley.

Tabla 2. Límites permisibles al vuelco según cuerpo receptor- Ley N°4.741- Pcia. de La Rioja.

	PARÁMETROS	LÍMITES PERMISIBLES EN DESCARGA				
		Curso Agua Sup.	Capa freática	Conducto pluvial	Colectora Cloacal	Terreno Absorben
1	Ph	5,5 a10	5,5 a10	5,5 a10	5,5 a10	5,5 a10
2	Temperatura °C	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40
3	Sólidos sedimentables 10 min. (ml/l)	≤ 0,5	---	---	≤ 0,5	---
4	Sólidos sedimentables 2hs. (ml/l)	---	---	---	---	---
5	Sust. Solub. En frío en éter etílico (mg/l)	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
6	Sulfuros totales (mg/l)	≤ 1	≤ 5	≤ 1	≤ 1	≤ 5
7	Cromo triv. (mg/l)	≤ 2	*	≤ 2	≤ 2	*
8	Cromo exav. (mg/l)	≤ 0,20	*	≤ 0,20	≤ 0,20	*
9	Plomo (mg/l)	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,005
10	Mercurio total (mg/l)	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,005
11	Arsénico (mg/l)	≤ 0,10	≤ 0,01	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,01
12	Cianuros (Cn) (mg/l)	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10
13	Cadmio (mg/l)	≤ 0,10	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,05
14	B.D.O., 5d, 20°C (mg/l) (líq. bruto)	≤ 50	≤ 200	≤ 50	≤ 200	≤ 200
15	Oxígeno consumido s/muestra bruta (mg/l), a determinar cuando no pueda realizarse la D.B.O.	≤ 20	≤ 80	≤ 20	≤ 80	≤ 80
16	Sust. Fenólicas (mg/l)	≤ 0,05	≤ 0,20	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,20
17	Sust. Reactivas a la ortotolidina (detergentes)	1 a 2	≤ 0.5	1 a 2	≤2	≤0,5
18	Demanda de cloro (mg/l)	**	---	**	---	---

\* Se determinará Cromo total y su valor permisible será menor o igual a 0,05 mg/l.

\*\* Se determinará y exigirá satisfacer la "Demanda de cloro" en establecimientos tales como: Mataderos, Lavaderos de lana, Productos lácteos en desagües donde el efluente industrial se mezcla con el cloacal. Cuando la reducción del contenido microbiológico no sea en base a cloración puede no ser exigible satisfacer la demanda de cloro. En este caso a pedido de la industria y de ser procedente el pedido, la carga contaminante deberá tener menos de 5.000 coliformes totales/100ml.

## **2.5 Estudio de caso**

La generación de los efluentes cloacales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas, las cuales modifican las características fisicoquímicas y biológicas del agua de partida, contaminándola e invalidando su aplicación para otros usos.

Las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas han mostrado que el éxito de la remoción no se debe exclusivamente a la disponibilidad de las técnicas, por si misma, sino a la interacción de diversos aspectos económicos, socioculturales, biofísicos y políticos-administrativos que comprende un territorio (Alvarado, 2012).

El proceso de tratamiento del agua residual doméstica se inicia por la recolección del agua residual a través de tuberías para ser llevadas a plantas de tratamiento especializadas en las cuales se realizará el proceso de descontaminación a nivel físico, químico y biológico que permitirán una depuración total de las mismas. La contaminación principal de las aguas residuales domésticas es por materia orgánica, tanto en suspensión como en disolución, normalmente biodegradables, y cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y sales minerales, lo que precisa de un proceso para su eliminación.

El tratamiento persigue evitar:

- Contaminación a las fuentes de abastecimientos públicos, privados e industriales.
- Contaminación a las aguas destinadas a la recreación y el esparcimiento.
- Contaminación a las actividades piscícolas.
- Perjuicios a la agricultura y depreciación del valor de la tierra.
- Impacto al entorno ecológico.

Las plantas para el tratamiento de las aguas residuales pueden tener diferentes modos de funcionamiento, dependiendo del nivel de purificación que realicen del agua y de los procesos que empleen durante los mismos. Sin embargo, existen algunos

métodos básicos que se realizan en el tratamiento de aguas residuales en los que la mayoría de las plantas presentan similitudes.

- **Fitorremediación**

Concepto: Proviene del griego Phyto que significa “planta” y remedium que significa “cura o remedio”.

Proceso mediante el cual se aprovecha la capacidad de algunas plantas y microorganismos asociados a ellas para absorber, acumular, metabolizar, transferir o estabilizar contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos en el suelo, aire o agua, (figura16) distintos tipos de fitorremediación donde se indica la zona, donde se produce el proceso.

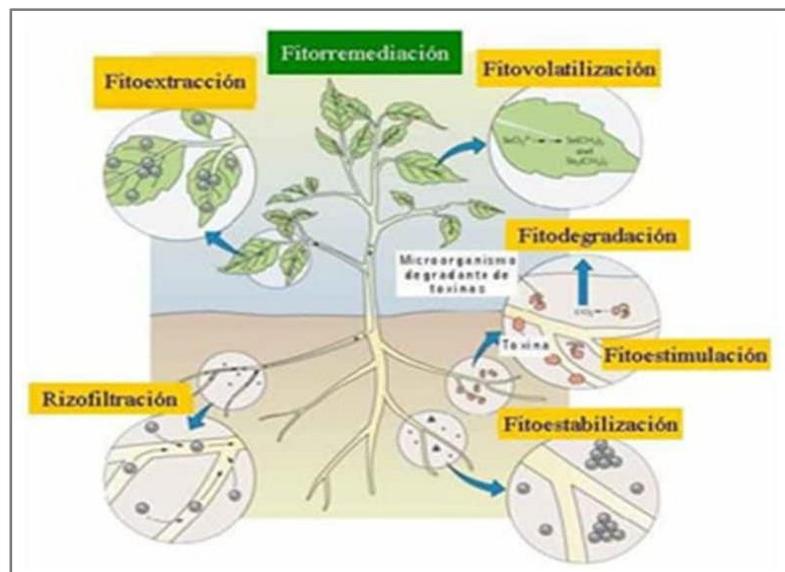


Figura 16. Tipos de fitorremediación se observa la zona de la planta.

Algunas plantas empleadas para esta técnica son: *Vertiveria*, *Alyssum mrale*, *Trifolium nigriscens*, *Psychotria douarrei*, *Geissois pruinosa*, *Homalium guillainii*, *Hybanthus floribundus*, *Sebertia acuminata*, *Stackhousia tryonii*, *Pimelea leptospermoides*, *Aeollanthus biformifolius* y *Haumaniastrum robertii* (Ni); *Brassica jncea*, *Helianthus annuus* *Sesbania drummondii* (Pb); *Brassica napus* (Cu, Pb, Zn); y *Pistia stratiotes* (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) (figura17).



Figura 17. Plantas usadas en fitorremediación.

Entre los criterios de selección de plantas para la fitorremediación podemos mencionar:

- Ser tolerantes a altas concentraciones de metales (plantas resistentes).
- Ser acumuladoras de metales.
- Capacidad de transformarlos en menos tóxicos.
- Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad.
- Ser especies locales o adaptables al lugar
- Ser fácilmente cosechables (Fácil de arraigar y mantener).
- Una alta capacidad de evapotranspiración.

El proceso de fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada, el estado de crecimiento de la planta, su estacionalidad y el tipo de material a remover. Se conocen más de 300 plantas hiperacumuladoras.

En el tratamiento del agua residual generalmente se utiliza tecnología que se le puede denominar Convencional con la cual, para depurar el agua, implica uso de energía, costos de operación que se incrementan por el traslado de subproductos, como los lodos residuales, que no siempre encuentran un sitio de disposición final que aproveche la sinergia de estos, dejando de lado, los beneficios como son el biogás y los nutrientes que contienen. Las mismas son sometidas a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos con el fin de reducir sus contaminantes y permitir su vertido, minimizando los riesgos para el medio ambiente y para la salud.

Los sistemas de depuración son múltiples, pero se clasifican siempre en función del nivel de tratamiento conseguido, el pretratamiento elimina las materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente puede perturbar el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de la maquinaria, equipos e instalaciones de la estación depuradora. El tratamiento primario elimina solo parte de los sólidos en suspensión y se basa normalmente en tecnologías de eliminación mecánica.

El tratamiento secundario utiliza como norma general sistemas biológicos con microorganismos aerobios o anaerobios que descomponen la mayor parte de la materia orgánica y retienen entre un 20 y un 30 % de los nutrientes, eliminando hasta el 75 % del amonio.

El tratamiento terciario incluye la retención del fósforo y del nitrógeno, incluyendo también la eliminación de microorganismos patógenos. Los procesos de depuración de aguas residuales normalmente son llevados a cabo en plantas de tratamiento o estaciones depuradoras, siendo estos los recintos donde se ubican los equipos necesarios para la realización de los procesos citados anteriormente. Una minoría de las estaciones presenta los tres tipos de tratamiento, siendo los más comunes el pretratamiento, el tratamiento primario y el secundario.

Muchas veces las pequeñas localidades, por su propia localización geográfica y grado de desarrollo, presentan una problemática específica, que dificulta la provisión de los servicios de saneamiento y depuración.

En esta problemática se destacan:

El hecho de no poder aprovechar las ventajas que supone la economía de escala como consecuencia de su pequeño tamaño, lo que conduce a que los costes de implantación y de mantenimiento y explotación por habitante sean elevados. Además, en poblaciones dispersas los costes de saneamiento se incrementan notablemente.

La escasa capacidad técnica y económica para el mantenimiento y explotación de estaciones de tratamiento de aguas residuales.

Por lo antes mencionado, a la hora de seleccionar soluciones para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los pequeños núcleos de población, debe darse prioridad a aquellas tecnologías que:

- Presenten un gasto energético mínimo.
- Requieran un mantenimiento y explotación muy simples.

- Garanticen un funcionamiento eficaz y estable frente a las grandes oscilaciones de caudal y carga en el efluente a tratar.
- Simplifiquen la gestión de los lodos generados en los procesos de depuración.

Las tecnologías de depuración de aguas residuales domésticas que reúnen estas características se conocen con el nombre genérico de *tecnologías no convencionales*.

En nuestros días existe una creciente tendencia hacia la búsqueda de procesos compatibles con la sostenibilidad del medioambiente, entre los que se encuentran sistemas de lombrifiltros y humedales construidos. Estos últimos, se presentan como una tecnología para el tratamiento principal o complementario de aguas residuales, principalmente en los casos donde resulta difícil construir, operar o mantener adecuadamente los sistemas de tratamiento convencionales.

Los humedales artificiales reproducen la dinámica de los humedales naturales, y como éstos, constituyen delicados ecosistemas, que combinan procesos físicos, químicos y biológicos en un medio diseñado, construido y manejado por el hombre. La principal diferencia con respecto a los humedales naturales es el grado de control que puede ejercerse sobre los procesos intervinientes. Estos constituyen una tecnología válida para depurar aguas residuales, para pequeñas o medianas comunidades, con bajo costo de construcción, mantenimiento y que no cuenta ni con la cultura, ni con los recursos financieros para ello, pero sobre todo este tipo de técnicas siguen la dinámica de la naturaleza.

Algunos de los aspectos diferenciales con respecto a los humedales naturales, son el hecho de que el flujo de agua es más estable, no está sometido necesariamente a fluctuaciones estacionales, el tiempo de retención está controlado por el operador, y la carga contaminante es más elevada. Sin embargo, y a semejanza de lo que ocurre en los humedales naturales la influencia de los parámetros climáticos (precipitación, radiación, temperatura) en el comportamiento del humedal es importante.

La eliminación de las sustancias contaminantes presentes en los efluentes cloacales se logra a través de mecanismos y procesos naturales los cuales no requieren de energía externa ni de aditivos químicos; en estos sistemas gran parte de los procesos de descontaminación son ejecutados por sinergia de diferentes comunidades de microorganismos. Son sistemas ampliamente utilizados en diferentes partes de Europa y Estados Unidos desde hace varias décadas.

Como consecuencia de la realidad económica que atraviesa nuestro país, y la permanente preocupación de proteger y mejorar el medio ambiente, es que se busca estudiar otras alternativas de tratamientos que, si bien no han sido desarrollada lo suficiente en nuestro país, representa una solución técnica al tratamiento de los efluentes cloacales con baja inversión y escaso mantenimiento.

Para una mayor información se describe sucintamente a continuación aspectos básicos del sistema propuesto que permitirá ilustrar sobre sus características y procesos de transformación empleados:

La Fitorremediación hace referencia a la acción de depuración del agua en presencia de vegetación implantada en lagunas artificiales, constituyendo un sistema de humedal artificial o "wetland". Esta forma de tratamiento de las aguas, de implementación sencilla, costos relativamente bajos respecto a los sistemas tradicionales y con implicancias ambientales beneficiosas, es aplicable para depurar efluentes cloacales de origen domiciliario, agropecuario e industrial, entre las principales aplicaciones.

Los humedales construidos consisten principalmente en estanques poco profundos en los que se implantan especies vegetales adaptadas a la vida acuática y en los que la depuración se basa en procesos naturales de tipo microbiológico, biológico, físico y químico. Su diseño es muy variado, pero siempre incluye canalizaciones, impermeabilización del suelo para evitar el paso de la contaminación a los ecosistemas circundantes y el control del flujo del efluente en cuanto a su dirección, flujo, tiempo de retención y nivel del agua (Curt, 2005).

En ellos los procesos físicos, químicos y biológicos se llevan a cabo por los vegetales y microorganismos, ya que son capaces de depurar el agua eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y en algunos casos productos químicos tóxicos.

Si bien en la Argentina la incursión en este tipo de tecnologías es relativamente reciente (mediados de la década del '90), en Europa y EE. UU. las primeras prácticas a nivel experimental datan de más de 60 años (Borín & Marchetti, 1998), instalándose los primeros sistemas operacionales a fines de la década del '70. Más tarde, el interés por esta tecnología *innovativa* continuó cobrando más interés; solamente en Gran Bretaña, más de 400 sistemas de este tipo se instalaron entre 1985 y 1995; EE. UU. cuenta actualmente con varios centenares de sistemas de humedales artificiales de una amplia gama de dimensiones, aplicables desde pequeñas cantidades de agua a tratar (casas individuales y pequeños barrios) a grandes comunidades (EPA, 1997).

- **Antecedentes**

Debido al cambio climático, cada vez más regiones están experimentando sequías o inundaciones. Por lo tanto, reciclar agua y/o utilizar tecnologías de tratamiento no convencionales son aspectos claves para la adaptación a los efectos del cambio climático.

El uso de humedales de tratamiento para el saneamiento de aguas residuales es cada vez más aceptado en diferentes partes del mundo. Hoy en día los humedales artificiales o construidos son comunes en diferentes países europeos como Inglaterra, Francia, Dinamarca, Alemania e Italia entre otros, siendo también apropiados para los países Latinoamericanos, solo que se requiere de una mayor difusión y comprensión del funcionamiento de estos sistemas de tratamiento para las condiciones ambientales propias.

El término de Humedales construidos es relativamente nuevo; sin embargo, el concepto es antiguo, pues se tiene conocimiento de que las antiguas culturas como son la China y la Egipticia utilizaban a los humedales naturales para la disposición de sus aguas residuales.(Brix H, 1994 a).

A continuación, se describen una serie de experiencias desarrolladas en otros países:

Los primeros experimentos con macrófitas de humedales para el tratamiento de aguas residuales se llevaron a cabo en Alemania a principios de los años cincuenta.

El primer reporte científico en el que se señala las posibilidades que tienen las plantas emergentes para la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales pertenece a la Dra. Kathe Seidel del Instituto Max Planck, de Alemania. En el informe de sus investigaciones ella plantea que mediante el empleo del junco común (*Schoenoplectus lacustris*) era posible la remoción de una serie de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, así como la desaparición de bacterias (coliformes, salmonella y enterococos) presentes en las aguas residuales.

En un estudio realizado en una planta de tratamiento en toogoolawah, un pequeño pueblo en el subtrópico de Australia, que se construyó en los años 70. Se utilizó sedimentación primaria (tanque estanques de almacenamiento. El efluente de los estanques fue diseñado para fluir a un humedal y rebosar después a un arroyo local. Se consideró un sistema de tratamiento con vetiver que pudiera absorber la mayor parte del agua, así como los nutrientes, los compuestos orgánicos y los metales pesados del drenaje. El tratamiento con vetiver tenía dos componentes un tratamiento

hidropónico en estanques de almacenamiento y un humedal estacional. (Ash and Truong, 2003).

Los resultados del tratamiento (tabla 3), a lo largo del periodo 2002 - 2004 fueron los siguientes:

*Tabla 3. Eficiencia antes y después de uso de vetiver.*

<b>Pruebas (requeridas por el permiso)</b>	<b>Afluyente</b>	<b>Efluente</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
pH (6.5 - 8.5)	7.3 - 8.0	7.6 - 9.2	-
Oxígeno Disuelto (2.0 mg/l min)	0 - 2	8.1 - 9.2	-
DBO <sub>5</sub> (20 - 40 mg/l máx.)	130 - 300	7 - 11	95
Sólidos suspendidos (30 - 60 mg/l máx.)	200 - 500	11 - 16	96
Nitrógeno Total (6.0 mg/l máx.)	30 - 80	4.1 - 5.7	91
Fósforo Total (3.0 mg/l máx.)	10 - 20	1.4 - 3.3	84

*Fuente: (Ash and Truong, 2003)*

En Colombia se han construido humedales de flujo subsuperficial, enfocados primordialmente a la realización de pruebas piloto en el tratamiento de agua residual doméstica con caudales y poblaciones de diseño relativamente pequeñas. En el año 1997, Lara Carlos y otros (1997) construyó en la ciudad de Tunja, un humedal de flujo subsuperficial, como un sistema de tratamiento complementario de agua residual doméstica tratada previamente en un reactor anaerobio UASB.

En la recopilación de información publicada en “El sistema Vetiver para mejorar la calidad del agua” Truong (2008), hace mención de un estudio piloto que se llevó a cabo para probar la conveniencia de utilizar pasto Vetiver para tratar un efluente de una planta manufacturera de aluminio (Al) en Tánger, Marruecos, que estuvo altamente contaminado con aluminio y metales. Después de neutralizar y decantar las sales suspendidas de Al, el efluente fue descargado a un contenedor de arena sembrado con Vetiver con capacidad de filtrar 500 litros por día (85 litros descargados 6 veces al día). Diez semanas después del sembrado, aun cuando el sistema no estaba totalmente maduro, el Vetiver demostró su efectividad para purificar este afluyente altamente contaminado.

En Argentina, el uso de humedales construidos para tratamiento de efluentes es aún limitado, a pesar de que las condiciones para su implementación son ideales (gran disponibilidad de terrenos marginales de bajo costo, clima templado con inviernos poco rigurosos y gran disponibilidad de macrófitas adaptadas al clima). Una de las experiencias son los Humedales construidos para tratamiento de efluentes de industrias metalúrgicas en Santa Fe, (Maine et al 2016). El objetivo del trabajo fue evaluar la eficiencia de dos humedales construidos para el tratamiento de efluentes de

industrias metalúrgicas y determinar si los contaminantes son retenidos por el sedimento o por las plantas, conocimientos clave para llevar a cabo un correcto manejo del humedal.

En ambos humedales se trata el efluente cloacal junto con el industrial que contiene metales. Como los volúmenes a tratar y la composición química de los efluentes es diferente, los humedales construidos presentan distintas características de diseño. Uno de ellos está en operación desde hace 12 años y el otro desde hace cinco años. Ambos humedales funcionaron de manera eficiente, mostrando eficiencias de remoción satisfactorias para especies nitrogenadas, DQO, DBO, sulfato, y metales. *Typha domingensis* (totora), especie dominante en ambos casos, presentó alta capacidad de retención de metales, en especial en su zona radicular, lo que demuestra su capacidad de fitoestabilización.

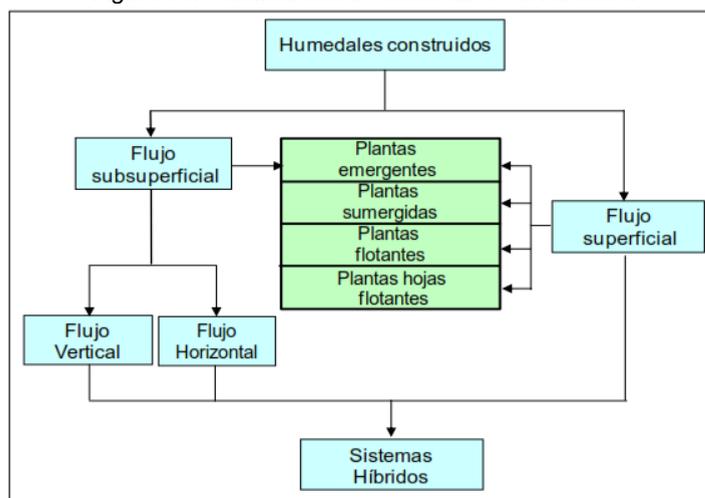
Puede señalarse que los humedales tienen tres funciones básicas para desarrollar, en forma natural, un enorme potencial para el tratamiento o la transformación de los componentes de las aguas residuales domésticas en este caso.

Estas funciones se las puede enunciar, así:

- Fijar físicamente los componentes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Transformación natural del líquido a tratar utilizando, sus elementos y microorganismos, asociados al suelo y la vegetación incorporada.
- Lograr niveles de tratamiento importantes, sin energía y escaso mantenimiento operativo.

La clasificación para humedales construidos más aceptada es la que tiene en cuenta el régimen de circulación de las aguas que se les aplica (figura 18).

Figura 18. Clasificación de humedales construidos.



Fuente : ( Kadlec y Knight, 1996; EPA, 2000; Vymazal, 2008)

Los humedales artificiales para la depuración de aguas han ido evolucionando en la medida que se fueron generando necesidades, distinguiéndose actualmente dos tipos básicos:

#### Sistemas de flujo libre/Humedales de flujo superficial (HFS).

Estos sistemas consisten típicamente en estanques o canales, con alguna clase de barrera subterránea para prevenir la filtración, suelo u otro medio conveniente a fin de soportar la vegetación emergente, y agua en una profundidad relativamente baja (0.1 a 0.6 m) que atraviesa la unidad (figura 19).

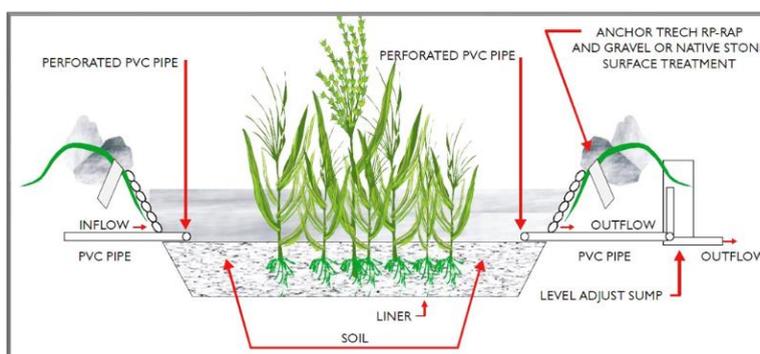


Figura 19. Esquema general de un sistema de humedal artificial de flujo libre (HFS)- (2006).  
Fuente: Llagas y Guadalupe

#### Sistemas con flujo horizontal subsuperficial (HFSS).

En este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. El medio es comúnmente grava gruesa y arena en espesores de 0.45 a un metro y con pendiente de 0 a 0.5% (figura 21). Este sistema tiene la ventaja de necesitar áreas de terreno menores y evitar los problemas de olores y mosquitos, en comparación con los sistemas de flujo libre.

Las desventajas son el incremento del costo debido al medio de grava y la obstrucción potencial del medio, los detalles de lo descrito se presentan en tabla 4.

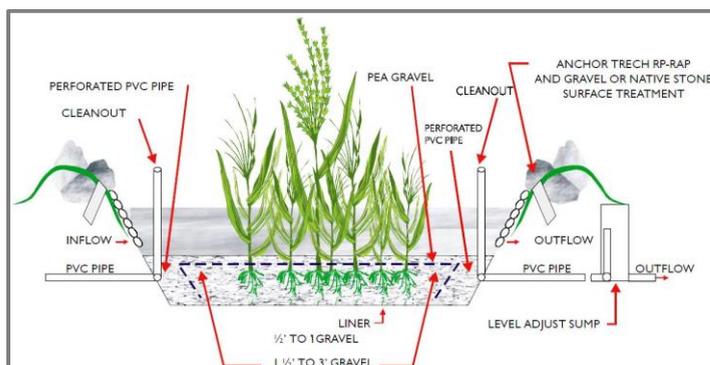


Figura 20. Esquema general de un sistema de humedal artificial (HFSS).  
Fuente Llagas y Guadalupe (2006)

Las diferentes formas de vida de las plantas acuáticas adquieren gran importancia con respecto a su función en los humedales de tratamiento.

En función de la información obtenida y de las experiencias realizadas en otros países, en este trabajo se propone realizar la refuncionalización de la planta de tratamiento de la ciudad de Chimal, a través de la implementación de humedales construidos de flujo subsuperficial usando como planta fitorremediadora la vetiveria como se cita anteriormente y teniendo cuenta la ventaja de obtener la misma por propagación en el laboratorio Bio Vida, el cual se describirá más adelante. La bibliografía recomienda tratamiento preliminar. Este puede estar dado por tanques sépticos, tanques Imhoff, lagunas, tratamiento preliminar convencional o sistemas similares. (Escot, 2014).

Estas operaciones tienen por objeto reducir la concentración de los sólidos orgánicos difícilmente degradables que de otra manera se acumularían en la zona de entrada del humedal y que producirían atascamientos, posibles olores y efectos negativos en las plantas de esta zona. En el caso de estudio se seguirá utilizando, las lagunas facultativas existentes como tratamiento primario.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de un humedal de flujo subsuperficial.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventaja</b>
Es una tecnología sustentable	Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos)
Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ	Es dependiente de las estaciones
Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas	El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental
Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía.	Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes)
No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho	Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión
Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable	No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras
Evita la excavación y el tráfico pesado	La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes
Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos	Se requieren áreas relativamente grandes
Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales)	Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos)

Fuente: (Polprasert, 1996; Brooks, 1998; Raskin y Ensley, 2000).

La tabla 5 nos muestra valores en porcentaje de remociones de los distintos parámetros tales como DBO, DQO, entre otros, en los humedales.

Tabla 5. Rendimientos de depuración en humedal subsuperficial.

<b>Parámetro</b>	<b>Porcentaje de Remoción (%)</b>
DBO <sub>5</sub>	80-90
Nitrógeno	20-40
Fósforo	15-30
Sólidos Suspendidos	85-90
DQO	75-85
Coliformes Fecales	90-99

Fuente:(Gómez 2008)

Datos de EPA (2000) muestran importantes diferencias en los costos, con reducciones de hasta 76% de reducción de costo del líquido tratado, comparando el sistema SFS respecto a uno tradicional de barros activados; considerando que el sistema superficial (SFS) es aún más económico que el sub- superficial, la ventaja económica es aún más marcada en este caso.

En todos los sistemas de fitodepuración se produce la remoción de los elementos contaminantes mediante una compleja variedad de procesos físicos, químicos y biológicos; que se resumen en la siguiente tabla 6:

*Tabla 6. Remoción de contaminantes a través de diferentes mecanismos.*

<b>Componentes del efluente</b>	<b>Mecanismo de remoción</b>
Sólidos en suspensión	Sedimentación
	Filtración
Sustancia orgánica soluble	Degradación microbiana en ambiente aeróbico
	Degradación microbiana en ambiente anaeróbico
Nitrógeno	Amonificación, seguida de nitrificación microbiana y desnitrificación
	Absorción por parte de los vegetales
	Absorción de la matriz del sustrato
	Volatilización amoniacal
Fósforo	Absorción de la matriz del sustrato
	Absorción por parte de los vegetales
Metales	Absorción e intercambio catiónico
	Precipitación
	Absorción por parte de los vegetales
	Formación de complejos e intercambio catiónico Oxidación/reducción micróbica

*Fuente EPA2000.*

El papel de la vegetación juega un rol relevante en el éxito de un sistema de fitodepuración, visto que tiene la importante función de transferir el oxígeno a través de las raíces y de los rizomas, asegurando un medio para el desarrollo de los microorganismos.

Otros de los beneficios posibles de alcanzar a través de la vegetación:

- Estabilización del sustrato.
- Sedimentación de los materiales sólidos suspendidos, favorecida por las velocidades bajas de las aguas.

- Captación de carbono, nutrientes y elementos de traza, con incorporación a la planta.

Como se mencionó antes el vegetal a usar para, refuncionalizar la planta de tratamiento es el pasto Vetiver, esta es una planta herbácea, gramínea, perenne, sin tallo aparente. Taxonómicamente el género *Crypsogon* pertenece a la subfamilia *Andropogoneae* de la familia *Poaceae*.

Tiene hojas largas, rígidas y sencillas, de 0,3m - 1m de largo y de 4 - 10mm de ancho, glabras, sin aristas, muy resistentes y de bordes ásperos. La planta puede alcanzar los 2m de altura. Las inflorescencias, prácticamente estériles, son de 0,15 - 0,4m de largo. El sistema radicular tiene un fuerte desarrollo vertical, pero se extiende solo unos 0,5m alrededor de la planta. Son raíces muy fuertes, rígidas, muy largas, verticales y de grosor uniforme, similares a alambres que forman una masa esponjosa, y muy ramificada. Las raíces pueden alcanzar los 4m de profundidad, siendo 2m - 3m común. Los rizomas son muy cortas y no invasivas (foto21), esta planta no desarrolla estolones.

Fisiológicamente, el vetiver se caracteriza por la biosíntesis por la vía C4, indicando su adaptación a condiciones de elevadas temperaturas diurnas y altos niveles de radiación solar (WILDSCHUT, 2013).



Figura 21. Rizomas de vetiver a raíz desnuda

Vetiver es originaria de zonas pantanosas de la India. Como tal, es hidrófita, aunque una vez establecida aguanta bien en condiciones xerófitas. Tiene gran tolerancia a condiciones climáticas extremas. Puede desarrollarse y sobrevivir bajo sequías prolongadas, inundaciones y también en climas calientes y fríos. La extensa y larga raíz del vetiver mencionada anteriormente, puede utilizar la humedad en las profundidades del suelo para permitir la sobrevivencia del pasto vetiver bajo condiciones de sequía hasta por 6 meses. Por otro lado, él puede soportar muy altas temperaturas de hasta 55°C.

Con una distribución pluviométrica uniforme crece sin necesidad de riego a partir de 300 mm, con un óptimo a partir de 700mm. En climas mediterráneos, requerirá el apoyo de riego hasta que el sistema radicular se encuentra plenamente establecido.

Su zona de distribución conocida es el trópico, subtropical y zonas con clima mediterránea. En el trópico y subtropical crece mejor por debajo de los 2000 msnm, aunque es la temperatura la que marca el límite de distribución, tanto en latitud, como en altitud.

#### *Características ecológicas*

Aunque el vetiver es muy tolerante a ciertas condiciones extremas de suelo y clima, como pasto tropical es muy intolerante a la sombra. La sombra reduce su crecimiento y en casos extremos, puede incluso eliminar el vetiver en el largo plazo. Por lo tanto, el vetiver crece mejor en espacios abiertos y libres de malezas, siendo necesario el control de malezas en la etapa de establecimiento.

#### *Atributos morfológicos*

La planta de vetiver no tiene estolones ni rizomas funcionales.

Su sistema de raíces finas y compactas crece muy rápido, en algunas aplicaciones puede alcanzar entre 3 y 4 m de profundidad en el primer año.

Sus profundas raíces (foto 22) aseguran su tolerancia a sequías, permiten una excelente infiltración del agua en el suelo, y la penetración de capas compactas (hardpans) lo que favorece un drenaje profundo.

La mayoría de las raíces en el sistema de raíces masivo son muy finas, con un diámetro promedio de 0,5-1,0mm (Cheng *et al.*, 2003, citado por TRUONG *et al.*, 2009). Esto hace disponible un enorme volumen de rizósfera para el crecimiento y multiplicación de bacterias y hongos, favoreciendo la absorción de contaminantes y procesos de descomposición como la nitrificación.

Los tallos firmes y erguidos del vetiver pueden crecer hasta tres metros (foto23). Cuando se plantan muy juntos forman una barrera viva permeable que retarda el flujo del agua y actúa como un biofiltro muy efectivo, atrapando sedimentos gruesos y finos e incluso rocas en el agua de escorrentía.



*Figura 22. Raíz de vetiver.  
Fuente: Arochas et al, 2010.*



*Figura 23. Plantación de vetiver crecimiento después de 5 meses de sembrado.  
Fuente: Arochas et al, 2010.*

El laboratorio del *Centro de Biotecnología Vegetal Biovida*, se encuentra ubicado en Anguinán, Chilecito, Provincia de La Rioja, es donde se propone realizar la propagación de la vetiveria para ser usado en la planta de tratamiento, el mismo tiene una superficie total de 1.000 m<sup>2</sup> cubiertos, con una capacidad de producción de 2.000.000 de plantines micropropagados por cada ciclo de cuatro meses.

Cuenta con un área de 150 m<sup>2</sup> de laboratorio de producción para preparación de medios de cultivo y de área limpia para producción. El área de cámaras de cultivo con temperatura y luz independiente por cámara abarca 300 m<sup>2</sup> con veinte cámaras de cultivo con una capacidad de 100.000 plantines por cámara. Instalaciones del laboratorio (figuras 24).

Dentro de las capacidades tecnológicas se tiene:

- Banco de germoplasma in vitro e in vivo.
  - Selección de plantas madre y seguimiento agronómico en condiciones controladas.
  - Desarrollo de técnicas in vitro para conservación de germoplasma.
- Micropropagación de plantas de interés comercial
  - Desarrollo de protocolos para cultivos in vitro. Formulación de medios de cultivo aptos para cada especie. Enraizamiento in vitro o ex vitro. Aclimatación en invernadero.
  - Propagación masiva de plantas.
  - Utilización de marcadores moleculares para asegurar la calidad genética del material micropropagado.
- Saneamiento vegetal
  - Identificación de patógenos por métodos serológicos y moleculares (PCR).
  - Saneamiento por cultivo de meristemas, termoterapia, electroterapia y/o quimioterapia.
  - Seguimiento agronómico de ejemplares para garantizar calidad y sanidad.
  - Identificación genética de variedades por medio de marcadores moleculares.

#### *Micropropagación de Vetiveria:*

La micropropagación es un método eficaz para propagar fragmentos de plantas (nódulos, yemas y rizomas) que se cultivan en condiciones estériles sobre un medio de cultivo. Es un proceso eficiente para producir plantas masivamente.

Con la finalidad de propagar in vitro al pasto vetiver se trabaja en el desarrollo de un protocolo de establecimiento y multiplicación en el *Laboratorio de biotecnología Vegetal – Biovida*. Para ello se utilizaron dos tipos de explantos (yemas uninodales extraídas de las cepas y secciones de nudos). Los explantos fueron extraídos de plantas madre obtenidas por la OMS (Organización Mundial de la Salud). Se limpiaron con un cepillo suave con abundante agua y un antiséptico. Posteriormente se desinfectaron con etanol al 70% por 1 minuto en hipoclorito de sodio al 5 % durante 10 min., y por último se realizaron 5 enjuagues con agua desionizada estéril.

Los explantos fueron sembrados en potes que contenían 25 ml de medio de cultivo líquido básico MS modificado suplementado con 1mg/l de BAP para inducir el

desarrollo de las yemas. Se colocaron en cámaras de cultivo a una temperatura  $25 \pm 2$  °C, H.R. 70% y 5000 lux. Se evaluó el comportamiento de los explantos sembrados y contaminación a los 3, 5, 10, 20 y 30 días posteriores a la siembra. La multiplicación se realizó por división de plántulas. Alcanzando un coeficiente de multiplicación de 3. Posteriormente para el medio de enraizamiento se utilizaron plantas mayores de 2 cm en un medio de cultivo MS modificado sin la adición de reguladores. Finalmente, fueron aclimatadas en sustrato rico en turba y perlita, y colocadas en túneles en vivero para su posterior implantación. (Fotos de proceso 25, 26,27 y 28).



Figura 24. Preparación para proceso de propagación.

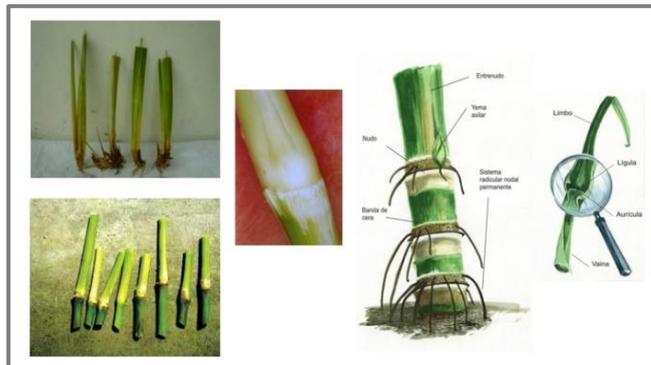


Figura 25. Extracción de yema de vetiver.



Figura 26. Etapas de micropropagación.



*Figura 27. Vetiver en cultivo.*



*Figura 28. Vetiveria en propagación en laboratorio Biovida*



*Figura 29. Cámaras de cultivo vetiver - laboratorio Biovida.*



*Figura 30. Plantas de vetiver p/ su aclimatación en vivero Biovida.*

La propuesta de tratamiento con pasto vetiver, en la planta de depuración de Chemical contempla, además de las ventajas ya desarrolladas de la planta lo siguiente:

Para realizar este sistema de tratamientos de aguas residuales se implementará un mecanismo de balsas flotantes como se observa en la (figura 31) a las cuales se les siembra la cantidad necesaria de plantas de vetiver en función del caudal a tratar, para que absorban todos los contaminantes que contengan las aguas residuales. De esta manera se logra volcar a los cauces, o campo de derrame como es el caso de Chemical, o bien hacer reuso de esta lo más descontaminada posible. Según la bibliografía consultada el proceso con pasto vetiver logra una depuración que supera el 95%, según estudios comprobados en Venezuela, India, China, Australia, México y E.E.U.U.



*Figura 31. Vetiver en balsas flotantes en tratamiento de efluentes cloacales.*

Como se mencionó, el vetiver se le ha señalado como una planta que puede eliminar diversas sustancias contaminantes de las aguas, entre ellos algunos macronutrientes tales como el nitrógeno, fósforo y algunos metales pesados: Níquel, Cadmio, Plomo, Mercurio.

Según experiencias realizadas, la eficiencia de Vetiver para tratar aguas residuales es un método de bajo costo y muy eficiente y para tratar aguas residuales domésticas e industriales; en investigaciones se ha demostrado que bajo condiciones hidropónicas es capaz de bajar:

- Nitrógeno total de 100 mgL<sup>-1</sup> a 6 mgL<sup>-1</sup> (94 % de eficiencia);
- Fósforo total de 10 mgL<sup>-1</sup> a 1 mgL<sup>-1</sup> (90 %),
- Coliformes fecales =1.600 org /100 mL a 900 org /100 mL (44 %);
- E. Coli (%), E. Coli de =1.600 org /100 mL a 140 org /100 mL (91 %);
- Oxígeno disuelto de < 1 mgL<sup>-1</sup> a 8 mgL<sup>-1</sup> (>800);
- Conductividad eléctrica de 928  $\mu$ Scm<sup>-1</sup> a 468  $\mu$ Scm<sup>-1</sup>;
- pH 7,3 a 6,0

Todo esto con un tiempo de retención de cuatro días. (Truong et al, 2000).

### 3. CONCLUSIONES

Del estudio realizado resulta oportuno destacar los siguientes aspectos y consideraciones:

Con lo expuesto se pretende dar un conocimiento básico sobre un sistema de depuración poco explotado en nuestro país, pero muy desarrollados en otros, y sobre el cual se pretende no solo hacer una experiencia piloto con este tipo de vegetal, sino avanzar en este tipo de innovación o incorporación de nueva tecnología en la provincia.

La propuesta de tratamiento del agua residual doméstica a través de fitorremediación para la ciudad de Chamental, con el uso de vetiver para refuncionalizar y optimizar el tratamiento con las celdas de humedales construidos, las cuales no están funcionando como tal, resulta una buena alternativa de tratamiento para los efluentes cloacales.

Esto último, teniendo en cuenta las características fisiológicas, ecológicas, morfológicas del pasto vetiver, sumado a que los caudales afluentes actuales son suficientes para el funcionamiento normal del sistema.

Es una tecnología de bajo costo, puesto que no requiere de infraestructura sofisticada, simple, sustentable, compatible con el ambiente y estéticamente más agradable que las tecnologías convencionales y el reúso del agua tratada para riego arbóreo.

Otra de las ventajas que resultaría del uso de vetiver es la posibilidad de obtener las mismas en la provincia de La Rioja, del Centro de Biotecnología Vegetal "Biovida", ubicado en el departamento Chilecito, en la localidad de Anguinán, a solo unos 190 km de distancia. Es un laboratorio que se encarga de multiplicar plantas por micropropagación, técnica mediante la cual se toma una porción de tejido vegetal denominado explante para luego introducirlo en un medio de cultivo con los nutrientes adecuados para el desarrollo de una nueva planta, lo que ayudaría a bajar aún más los costos del sistema de tratamiento.

La propuesta sugerida de refuncionalizar el sistema de depuración contempla el uso de las lagunas facultativas y de toda la infraestructura complementaria existente. Además, este sistema de depuración puede ser usado en otras localidades de características similares con las adaptaciones correspondientes.

El líquido efluente del humedal según experiencias realizadas en otros países y en función de la eficiencia en la remoción de los contaminantes presentes en el líquido, se muestra con características óptimas para el reúso en especies arbóreas,

siendo apto para riego restringido, ya que los parámetros contaminantes del líquido cloacal crudo serán reducidos en gran medida por su paso por las instalaciones de depuración propuesta. Esto es válido tanto para sólidos suspendidos, DBO, como para los parámetros microbiológicos, pero no así para su nivel de nutrientes, en especial para los compuestos de fósforo, lo cual califica a este líquido como excelente para el reúso en riego.

No debe dejarse de lado factores como el control de malezas ya que el crecimiento de la vegetación puede interferir en el normal desarrollo en el establecimiento del vetiver, y también favorecer el desarrollo de mosquitos.

Hay una tendencia creciente de invertir en la conservación y protección de los ecosistemas naturales, tomándolo como un concepto más amplio que delimite las acciones a aquellas *obras y actividades que protegen y/o recuperan el mejor funcionamiento de los ecosistemas naturales - hídrico*. Siguiendo el hilo del concepto abierto de Infraestructura Verde o Natural, este estudio sobre el tratamiento de aguas residuales con *vetiver* se encuadra dentro de él; ya que contribuye a la depuración de las aguas, una prioridad de salud en la región, a la descontaminación de cauces naturales y otras acciones de protección de las cuencas.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- Alvarado Granados Alejandro R. (Coord.), 2012: Experiencia en el Tratamiento de Aguas Residuales en el Estado de México. México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Boffil, Sinaí y Otros, 2009: “Desarrollo Local Sostenible a Partir del Manejo Integrado en El Parque Nacional Caguanes de Yaguajay” en Revista Desarrollo Local Sostenible, Cuba: [Www.Eumed.Net/Rev/Delos/04/](http://www.Eumed.Net/Rev/Delos/04/).
- Comisión Nacional del Agua (Conagua), 2007: Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México, Secretaría del Medio Ambiente Y Recursos Naturales (Semarnat), México.
- Conagua, 2008: Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Gobierno Federal, México.
- Experiencias en Bioingeniería Implementando el Uso del Vetiver (*Vetiveria Zizanioides*, (L) Nash) en diferentes localidades de Venezuela.
- García Rodríguez M, 2005: Diseño Construcción y Evaluación Preliminar de un Humedal de Flujo Subsuperficial. Revista de Ingenierías. Universidad de Los Andes. Santafé de Bogotá. 11 P. Disponible En: [Http://Hdl.Handld.Net/1992/760](http://Hdl.Handld.Net/1992/760).
- Lara, J, 1999: Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales.
- “Infraestructura Verde en el Sector de Agua Potable En América Latina y El Caribe: Tendencias, Retos y Oportunidades” Informe para Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de Las Américas (ADERASA) - Marta Echavarría y Otros; EcoDecisión - Forest Trends - The Nature Conservancy. Diciembre 2015.
- Llagas W, Gómez E. 2006: Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigaciones.17:12 P.
- Mara, 1976: Anexo Ix. Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales.
- Metcalf & Eddy, Inc. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tercera Edición. Volumen 2. México 1996.
- Metcalfe, O., Truong, P. And R. Smith, Hydraulic Characteristics Of Vetiver Hedges In Deep Flows. 3rd International Conferences on Vetiver (2003).
- Panigatti, M. C.; Boglione, R.; Griffa, C.; Schierano, M. C.; Laorden, F. “Fitorremediación como método alternativo para el Tratamiento de Aguas Subterráneas”. Actas Jornada PROMICA-PRODECA 2013. Córdoba, 05 al 07 de junio de 2013.
- Romero R. Jairo A. Tratamiento de Aguas Residuales; Teoría y Principios de Diseño. Tercera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.2004.
- Romero, M., Colin, A., Sánchez, E. y Ortiz, M. Tratamiento de Aguas Residuales por un Sistema Piloto de Humedales Artificiales: Evaluación de la Remoción de la Carga Orgánica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 23(1), 2009, P. 157 – 167.
- Sanabria, O. (2010). Innovative Alternative of Low Cost to Purify Waterwaster in Countries in Via of Development. Universidad de Pamplona. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo.

- Villegas, M., Vidal, E. (2009). Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia. 1983-2009. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.
- Truong, P., Tan Van, T, y E. Pinner. Aplicaciones del Sistema Vetiver. Manual Técnico de Referencia. The Vetiver Network International (2009).
- Biovida - Centro de Biotecnología Vegetal Riojana- Agrogenetica Riojana S.A.P.E.M. 2019.
- Ley Provincial N° 6.281/96 - Marco Regulador del Servicio de Agua Potable y Desagües Cloacales en la Provincia de La Rioja, Anexo III -2. Normas Mínimas de Calidad y Vigilancia para Desagües Cloacales.
- Ley N° 4.741/87 De Preservación del Medio Ambiente de La Provincia de La Rioja en los Parámetros Pertinentes del Anexo V del Decreto Reglamentario N° 773/93.
- Instrumento de Vinculación entre el Estado Provincial (Titular del Servicio Público de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales) y la Empresa Aguas Riojanas Sociedad Anónima con Participación Estatal Mayoritaria (ARSAPEM).

DIFUSIÓN ACADÉMICA  
EDITORIAL SUYAY

I

