

Pilot-scale evaluation of color removal, iron, oil and grease in groundwater

Nibis Bracho*, **Yesenia Chacón**, **Francisco Hernández**,
Luis Vargas, **Daniel Santiago**

*Centro de Investigación del Agua, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería,
Universidad del Zulia. Apartado Postal 15380 Delicias Maracaibo, Venezuela.*

**nibisbracho@hotmail.com*

Abstracts

The drinking water treatment plant La Salina, shows high value of color, iron, oils and fats. The objective of this research is to evaluate pilot-scale removal of the above parameters using different arrangements of filters and columns separation. In the first instance there was a assessment of the plant in order to compare with pilot-scale results. The second step consists of laboratory-scale study for selecting the number of columns for separating oils and fats. Finally, pilot scale arrangements analyzed three arrangements: a) separation of oils and fats; b) aeration columns followed by separation of oils and fats more slow sand filter, c) aeration columns, separation of oils and fats, more mixed sand filter and activated carbon. The evaluation of the plant concentrations obtained from 9.30 mg/L oil and fat, 0.56 mg/L > 0.3mg/L of iron, 49 UC > 15 UC, color, 9 > 5 NTU turbidity and an aggressive tendency water with a Langelier Index of -0.63, which was stabilized with lime dose of 30 mg/L. The plant problem is solved with the alternative "C". The effluent meets the permissible levels, 0.22 mg/L, 5 NTU of turbidity, 15 UC of color and 0.1 mg/L of oils and fats.

Keywords: drinking water color, iron, oils and fats.

Evaluación a escala piloto de la remoción de color, hierro, aceite y grasas en aguas subterráneas

Resumen

El efluente de la planta de potabilización La Salina, no es apta para su consumo a causa de altos valores de color, hierro, manganeso, aceites y grasas. El objetivo de esta investigación es evaluar a escala piloto la remoción de los parámetros mencionados empleando diferentes arreglos de filtros y columnas de separación. En primera instancia se realizó una evaluación de la planta a fin de compararlo con los resultados obtenidos a escala piloto. La segunda etapa corresponde a un estudio a escala de laboratorio para la selección del número de columnas para la separación de aceites y grasas. Finalmente, a escala piloto se analizaron tres arreglos: a) columnas de separación de aceites y grasas; b) aireación, seguida de columnas de separación de aceites y grasas, más filtro lento de arena; c) aireación, columnas de separación de aceites y grasas, más filtro mixto de arena y carbón activado. En la evaluación de la planta se determinaron concentraciones de 9.30 mg/L de aceites y grasas, 0.56 mg/L > 0.3mg/L de hierro, 49 UC > 15 UC de color, 9 > 5 UNT de turbidez y una tendencia agresiva del agua con un Índice de Langelier de -0.63, que fue estabilizada con una dosis de cal de 30 mg/L. El problema de la planta se resuelve con la alternativa "C". Este efluente cumple con los niveles permisible, es decir 0.2 mg/L para el hierro, 0 mg/L para el manganeso, 5 UNT, 15 UC y 0.1 mg/L de aceites y grasas.

Palabras clave: agua potable, color, hierro, aceites y grasas.

Introducción

Las aguas subterráneas frecuentemente contienen hierro en concentraciones superiores de 0,3 mg/L. Este elemento incrementan el color y la turbiedad, generándose manchas en la ropa y en las piezas sanitarias, así como aportando olor y sabor al agua, objetado por los consumidores [1]. Para su eliminación se emplea la aireación como proceso físico [2] y en algunos casos se emplea oxidación química por medio de compuestos clorados [3], transformando el hierro disuelto (Fe^{+2}) en óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3}) que pueden ser removidos por filtración [1].

Los derrames y fugas de hidrocarburos constituyen los mayores contaminantes de las aguas subterráneas [4]. En particular, los hidrocarburos líquidos en fase no acuosa (NAPL) presentan una baja solubilidad en agua, se infiltran en el subsuelo y pueden alcanzar el agua subterránea provocando una emulsión [5, 6].

Las aguas subterráneas son fuentes de suministro para las ciudades, las industrias y la agricultura [7]. La calidad de esta fuente de abastecimiento puede mejorarse utilizando tratamientos convencionales o no convencionales que permitan obtener los niveles máximos permisibles, establecidos en la Gaceta Oficial No. 36.395 de la República Bolivariana de Venezuela [8].

En la Costa Oriental del Estado Zulia-Venezuela, se presentó una fuerte escasez de agua, desde el 2008, como producto del crecimiento acelerado de la población y del desarrollo industrial. En virtud de ello, la Industria petrolera le ha solicitado a la Universidad del Zulia la evaluación y mejoramiento de sus plantas de potabilización, cuyo efluente se ha utilizado como servicio en el lavado de pisos, equipos etc. La empresa estima aprovechar esta fuente, para consumo humano, y a fin de reducir los gastos asociados a la compra de agua envasada en botellones.

La planta de potabilización la salina presenta alto color y turbidez como consecuencia de una alta concentración de hierro. Por otra parte esta agua tiene aceites y grasas por posible contaminación del pozo de agua subterránea, el cual se encuentra dentro del Lago de Maracaibo, donde albergan tuberías sub-lacustre transportadoras de petróleo. Esto limita su uso para consumo humano y genera un mal funcionamiento de los

filtros de carbón activado, por su envenenamiento encareciendo el tratamiento. Existen varios métodos para la eliminación de estas grasas, sin embargo se propone en esta investigación la separación física mediante columnas, considerando el espacio disponible y evitando la adición de químicos.

El objetivo de esta investigación es evaluar a escala piloto la remoción de hierro, aceites y grasas empleando diferentes arreglos constituido por aireación-columnas de separación de aceites y grasas, y filtración.

Parte experimental

La investigación se dividió en tres fases, en primer lugar se realizó una evaluación del funcionamiento de la planta a escala real (La Salina), luego se seleccionaron a escala de laboratorio el número de columnas de separación de aceites y grasas a ensayar en un proceso que incluya las unidades de la planta. Finalmente se simuló a escala piloto la potabilización del agua de la planta la Salina, utilizando las unidades de aireación, columnas para separación de aceites y grasas, mas filtración variando el lecho filtrante. Los resultados de la mejor alternativa a escala piloto se compararon con los resultados obtenidos a escala real, con el propósito de proponer a la industria la adición de las columnas de separación, así como la modificación de los lechos filtrantes en la planta.

Evaluación de la planta La Salina: Se capturaron muestras a la entrada y salida de cada unidad, con la finalidad de conocer el funcionamiento de cada proceso unitario (Figura 1) analizando parámetros físico-químicos y bacteriológicos (Tabla 1) siguiendo la metodología del Standard Methods [9].

Selección de las columnas de separación de aceites y grasas a escala de laboratorio: Para reducir los gastos a escala piloto se realizaron pruebas exploratorias con columnas construidas con tubos plásticos de PVC, de dimensiones 1.20 m de altura y 0.05 m (2") de diámetro exterior. El agua fue transportada desde la planta hasta el laboratorio en recipientes de 250 litros. El agua de alimentación fue bombeada desde el recipiente de 250 l hacia las columnas con un caudal constante de

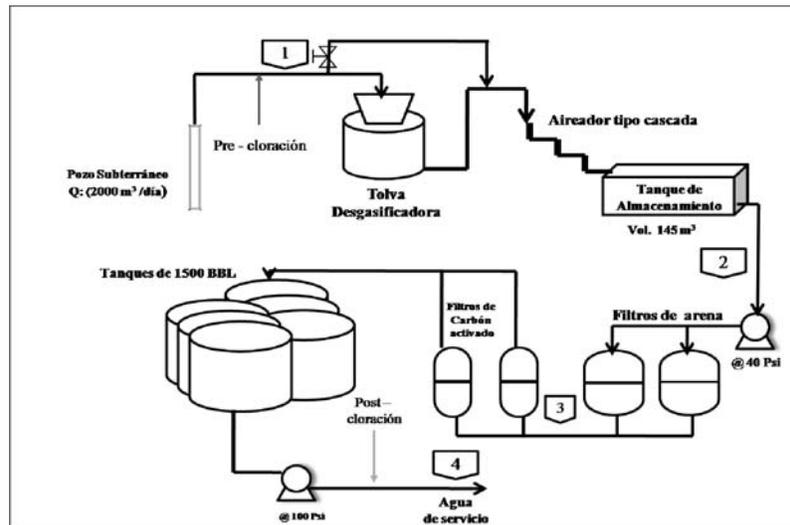


Figura 1. Puntos de monitoreo en la planta de potabilización "La Salina".

Tabla 1
Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos

Parámetros Físicoquímico	No de Método
pH	4500-H+
Color	2120-C
Turbidez	2130-B
Alcalinidad total	2320-B
apdefault Cloruros	4500-Cl-B
Sulfatos	4500 - SO ²⁻ 4 - E
Dureza total	2340-C
Conductividad	2510-B
Hierro	3500 - Fe - B
Manganeso	3500 - Mn - B
Aceites y grasas	5520 - B
Parámetro Microbiológicos	No de Método
Coliformes totales	Ayres y Mara (1996)
Coliformes fecales	

2.4 L/h. Para seleccionar las columnas se emplearon arreglos de 2 y 4 columnas de separación, seguida en ambos casos de una columna de carbón activado.

Estudio a escala piloto: Se instaló el sistema completo conformado por las unidades de: Ai-

reación, separación de aceites y grasa, para evitar el envenenamiento del lecho filtrante y luego la unidad de filtración (Figura 2), variando el lecho filtrante, es decir se realizaron pruebas con lecho de arena y grava, luego un lecho mixto (grava, arena y carbón activado).

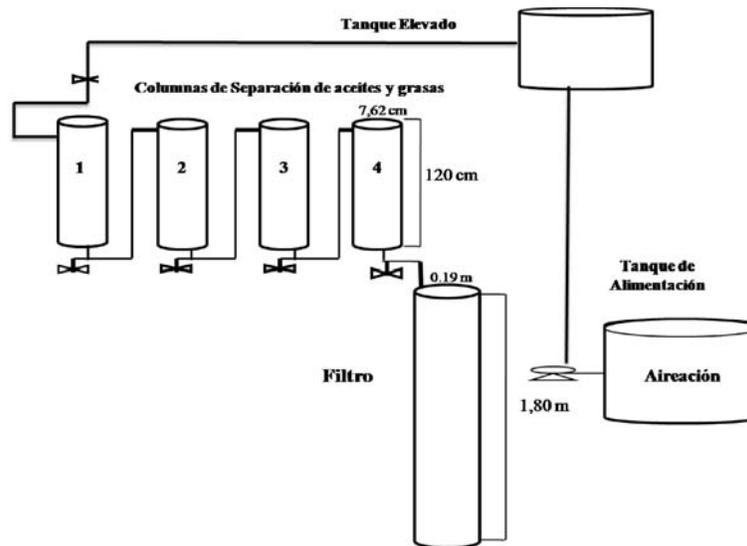


Figura 2. Sistema a escala piloto constituido por: Aireación + columnas de separación + filtro.

Discusión y resultados

Fase 1. Evaluación de la Planta La Salina

- Físico-químico y bacteriológico

En las fuentes de abastecimiento de agua subterráneas, es común conseguir concentraciones altas de hierro, Domínguez (2000), reportó concentraciones de hierro que fluctuaban entre 2 a 4 mg/L, en la Planta B [10], así mismo, Cupido y col. (2004), reportaron 14.2 mg/L, en el Municipio Mara, estado Zulia [11]. Esta concentración de hierro se debe a la poca cantidad de oxígeno presente en los pozos, lo que origina que el hierro se encuentre de forma ferrosa y se genere un aumento en el color y turbidez de las aguas [3].

En la planta en estudio el color es alto como consecuencia a la concentración del hierro, lo cual coincide con lo reportado por las investigaciones citadas. Es importante mencionar que en este estudio se utilizó la norma venezolana vigente 36.395 [8]. En base a ello, solo se obtuvieron cuatro parámetros en desviación en el agua cruda de alimentación a la planta (Tabla 2): color ($37.63 > 15$ UC), turbidez ($8.20 > 5$ UNT), hierro ($0.66 > 0.3$ mg/L) y aceites y grasas (7.44 mg/L > ausente.).

La calidad bacteriológica del agua es muy buena, debido a la ausencia de los indicadores de contaminación.

En la planta La Salina, oxidan el hierro mediante aireadores hidráulicos tipo cascada y tolva (cuya operación es alternada), su función es oxidar el hierro, por medio del contacto del agua con el oxígeno del aire [12]. En la Figura 3, se observa el comportamiento del hierro durante el tratamiento, observándose un incremento en la concentración 0.66 mg/L a 0.71 mg/L a la salida del aireador de cascada. Luego al transcurrir el agua por los tanques de almacenamientos construidos en concreto, ocurre un descenso del hierro a 0.64 mg/L, por precipitación del mismo, ocurriendo un nuevo aporte por parte de los filtros a presión (metálicos) que eleva el hierro a 0.7 mg/L. El aumento del hierro se observa en el paso del agua por estructura metálica, como consecuencia de índice de Langelier negativo igual a -0.6 (Tabla 2). En esta condición, el agua es de tendencia agresiva a disolver carbonato de calcio, acelerando la corrosión en las estructuras señaladas.

Resultados similares fueron obtenidos por, Aponte y col. (2010), en la planta de Bachaquero, causado por la tendencia agresiva del agua como consecuencia del índice de Langelier negativo [12]. La coincidencia de este parámetro en la Costa Oriental puede apuntar a un comportamiento del agua en la zona. Este problema se resolvió ajustando el pH con cal, con una dosis óptima de 30 mg/L con lo cual se obtuvo un Índice de Langelier de 0.08 ligeramente positivo, a fin de gene-

Tabla 2
Diagnóstico fisicoquímico y microbiológico de la planta La Salina

	Agua de alimentación n=16			Tanque de almacenamiento n=16			Salida de los filtros de arena n=16			Efluente n=16		
	Promedio	S2	Rango	Promedio	S2	Rango	Promedio	S2	Rango	Promedio	S2	Rango
Ph	8.02	0.15	7.8-8.3	8.28	0.06	8.2-8.4	8.27	0.08	8.10-8.37	8.12	0.41	8-8.4
Color (UC)	37.63	5.69	27.8-45.3	40.74	4.88	29.1-43.2	40.3	4.02	32.7-44.7	36.6	3.37	29.2-40.1
Turbidez (UNT)	8.20	1.9	5-13	7.20	0.75	6-8	7.8	0.83	7-9	6.8	0.14	6-7
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	362.6	3.77	358-370	352.2	4.64	345-360	348.	5.58	340-356	345.8	7.62	336-358
Cloruros (mg /L)	34.8	1.16	33-36	35	1.91	32-38	33.2	2.29	29-36	37	5.31	29-44
Sulfatos (mg /L)	1.49	0.04	1.39-1.57	2.0	0.392	1.63-2.68	1.84	0.098	1.74-2.02	1.50	0.29	1-2
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	15	1.5	11-18	11.8	1.10	10-13	11.6	1.03	12-13	12	0.85	11-13
Conductividad (µS/ cm)	812.4	40.99	717-855	847.4	26.40	782-895	835.8	24.50	786-859	589	6.12	845-865
Hierro (mg/L)	0.66	0.03	0.53-0.70	0.71	0.07	0.64-0.97	0.72	0	0.72	0.7	0.03	0.7-0.74
Manganeso (mg/L)	0.01	0.007	0.0-0.02	0.02	0.08	0.01-0.03	0.01	0.08	0-0.01	0.01	0.005	0.01-0.02
Aceites y Grasas (mg/L)	7.44			8.36				10.14			9.76	
Índice de langelier	-0.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes Totales (UFC/ 100 mL)	Ausencia	-	-	Ausencia	-	-	Ausencia	-	-	Ausencia	-	-
Coliformes Fecales (UFC/ 100 mL)	Ausencia	-	-	Ausencia	-	-	Ausencia	-	-	Ausencia	-	-

*El efluente representa el Agua de servicio.

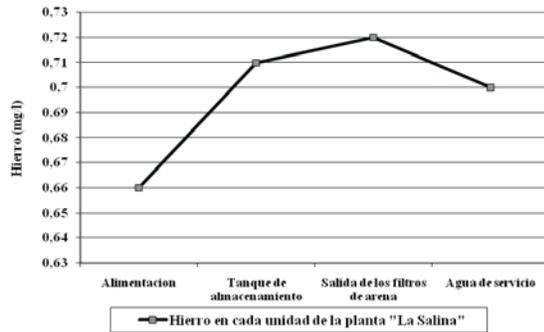


Figura 3. Concentración de Hierro en los diferentes puntos de la planta.

rar una capa protectora en los equipos metálicos y evitar el deterioro de las tuberías e instalaciones por esta causa. Aponte (2010) y Santiago y col. (2011) aplicaron el mismo estabilizante químico en la Planta de Bachaquero y Bajo Grande, respectivamente [12, 13].

Selección de las columnas de separación de aceites y grasas a escala de laboratorio

La literatura, recomienda diferentes tipos de tratamiento físicos, para la remoción de aceites y grasas, entre los cuales se encuentran: filtración con aire disuelto, centrifugación, filtración con distintos lechos filtrantes (arena y carbón activado) y columnas de separación, siendo las últimas las más utilizadas debido al poco espacio que ocupan y su alta eficiencia [7].

El arreglo constituido por dos columnas de separación más columna de pulimento, arrojó

una remoción del 93%. El segundo arreglo, alcanzó una remoción de aceites y grasas de 99%, observándose en ambos casos que la columna de pulimento no mejora la calidad del agua sustancialmente, por lo cual fue eliminada en la solución a escala piloto (Tabla 3). Es importante mencionar que el agua de alimentación a la columna fue transportada desde la planta, ubicada a 90 minutos del laboratorio. El agua se ensayaba al siguiente día de su captación, acumulándose el aceite en la superficie. El agua fue agitada manualmente, pero aun se observaron concentraciones mayores a la originada en la planta. Esta variable fue corregida a escala de laboratorio aireando el agua y bombeando a un tanque elevado, previo al paso del agua por las columnas de separación y filtro.

Evaluación a escala piloto

a) Remoción de aceites y grasas

En este caso, la concentración promedio en la alimentación fue de 7 mg/L parecido a lo obtenido en la planta para los aceites y grasas, empleando las cuatro columnas se redujo a 0.43 mg/L que al combinar con el arreglo de los filtros se logró 0.1 mg/L (Figura 4), ocurriendo una remoción de 99.9%.

b) Remoción de hierro, color y turbidez empleando como tratamiento: aireación, columnas de separación y filtro lento de arena.

Posterior al tratamiento con este arreglo, se logró una reducción del hierro de 0.66 hasta 0.3 mg/L, el color de 40 hasta 32 UC y la turbidez cambio de 10 llegó a 6 UNT, observándose que

Tabla 3
Remoción de los aceites y grasas a escala de laboratorio

	Afluente	Columna 1	Columna 2	Columna 4	Columna de Carbón activado
Aceites y Grasas (mg/L) n=3	90,58	41,25	6,25	0,98	0,93
Desviación Estándar	115.30	48.23	5.48	0.34	0.15
Máximo	222.72	97.1	12.5	1.32	1.03
Mínimo	10.41	5.55	2.25	0.64	0.82

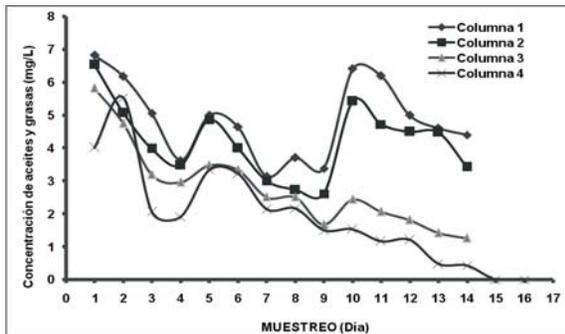


Figura 4. Remoción de aceites y grasas en las columnas de separación.

este arreglo no corresponde a la solución al problema, puesto que el color y la turbidez no cumple con la norma.

c) Remoción de hierro, color y turbidez empleando como tratamiento: aireación, columnas de separación, más filtro mixto de grava, arena y carbón activado.

En este caso, se sustituyó el filtro de arena por un filtro mixto conformado por espesores de: 10 cm de grava, 40 cm de arena y 50 cm de carbón activado. Esta solución fue mas exitosa que la analizada previamente, puesto que permitió alcanzar los niveles permisibles para los parámetros en desviación, obteniéndose: 0.2 mg/L para el hierro, 15 UC de color y 5 UNT de turbidez (Figura 5). Por lo tanto, este arreglo es el que se propone para el tratamiento. Es importante mencionar que no se requiere adicionar a la planta, el

proceso de coagulación y floculación como ocurrió en la planta de Tamare, ubicada en la misma localidad [11].

Conclusiones

La evaluación de la planta arrojó tres problemas principales: altas concentraciones de hierro, que imparten color al agua; índice de Langelier negativo que causan el deterioro de las instalaciones, aumentando la concentración de hierro por esta causa el color; presencia de aceites y grasas.

El índice de Langelier puede controlarse adicionando cal al agua en una dosis de 30 mg/L, obteniendo un índice de Langelier de 0.08, es decir ligeramente positiva con la finalidad de crear una película de carbonato de calcio que proteja los equipos e instalaciones.

El hierro, los aceites y grasas se remueven, con la solución de aireación, cuatro columnas de aceite, más un filtro mixto. Es importante mencionar que las columnas de separación de aceites y grasas, corresponde a una nueva unidad en las plantas de potabilización.

Agradecimientos

Este proyecto fue llevado a cabo gracias al financiamiento del CONDES y PDVSA y al apoyo prestado por el CIA, en cuanto a recursos humanos y equipos. Por otra parte, se expresa la gratitud a los tesisistas y aquellas personas que hayan colaborado con esta investigación.

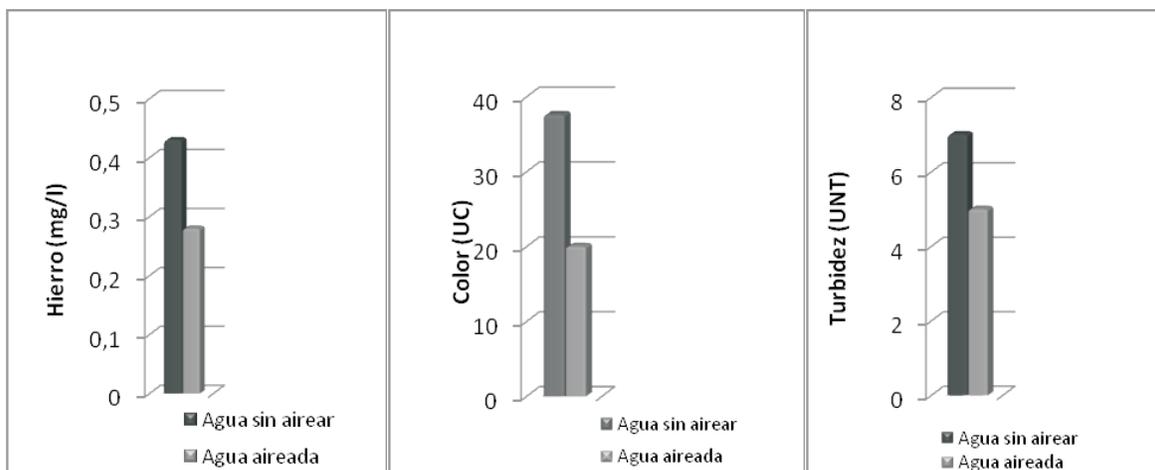


Figura 5. Comparación de la concentración de hierro en el arreglo de columnas de separación y filtro mixto de arena y carbón activado.

Referencias bibliográficas

1. Organización panamericana de la salud. "Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero". Perú. 2005.
2. Hossa I. "The effect of landfills on contamination of groundwater resources" Revista Journal or Academic Researh, Vol. 2, N° 5 (2007) 15-25.
3. Arboleda J. "Teoría y Práctica de la Purificación del Agua". Acodal Tercera edición. Tomo I. Colombia 1992.
4. Bastián C. "Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa". Revista Ciencia, Vol. 22, N° 11 (2009) 20-29.
5. Robbins G, Gilbert E. XXVII Congress on Groundwater in the Urban Environment. Nottingham (1997) 10-15
6. Perdomo. C., Casanova. N., y Ciganda. V. "Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay". Revista Agrociencia, Vol. 1. N° 1 (2001) 10-22.
7. NALCO. "Manual del Agua (Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones)". McGraw-Hill. 1era edición. Tomo I. México. 1998.
8. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Número 36 395. 1-8 pp. 1998.
9. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WPCF. EDITION 20. 1999.
10. Domínguez. F. Optimización del proceso de clarificación de la planta de potabilización B. (Para obtener el título de Ingeniero Químico). Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo. 88 pp. 2000.
11. Cupido M., Mauvil D., y Caldera L. Evaluación del Acondicionamiento del Sistema de Tratamiento de Agua Potable Sector La Rosita. Trabajo especial de grado. (Para obtener el título de Ingeniero Químico). Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo. 120 pp. 2004.
12. Aponte J; Bracho N y Vargas L. XXXII Congreso de Aidis. 1-7. Punta Cana (Santo Domingo). 2009. 10-20.
13. Santiago. D y Tapia. I. Evaluación del Cloruro Férrico como coagulante en el proceso de potabilización. (Para obtener el título de Ingeniero Químico). Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo. 130 pp. 2011.

Recibido el 23 de Enero de 2012

En forma revisada el 21 de Enero de 2013