

## I-057 – ADECUACION DE UNA PLANTA DE AGUA DE SERVICIO EN AGUA POTABLE

### Luisa Saules<sup>(1)</sup>

Ingeniera Química, Universidad Central de Venezuela (UCV) 1984, Maestría en Ingeniería Ambiental Universidad del Zulia (LUZ) 1993. Especialista en tratamiento de agua potable y residual.

### Nibis Bracho

Ingeniero Civil (1985) Universidad del Zulia (LUZ). Maestría Ingeniería Ambiental (1989)-LUZ. PhD. Ingeniería Ambiental Surrey University (2003). Publicaciones en congresos, revistas arbitradas y libro (60). Ganadora de premios y reconocimientos desde 1993 hasta la fecha. Nivel de Investigador C (PEI C) Convocatoria 2011. Especialista en tratamiento de agua potable y aguas residuales. Miembro activo de AIDIS desde 1992.

### Mayluz Paz

Ingeniera Química. Universidad del Zulia (LUZ)

### Dayenny Blanco

Ingeniera Química. Universidad del Zulia (LUZ)

### José Delgado

Técnico Medio en Química (ETI Anselmo Belloso), Asistente de Investigación del Centro de Investigación del Agua de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia desde 1994.

**Dirección<sup>(1)</sup>:** Av. Goajira, Ciudad Universitaria, Centro de Investigación del agua (CIA) frente a la Fac. de Agronomía. Universidad del Zulia. Maracaibo-Edo Zulia. 4001 Venezuela. Tel. +58+261+7597182-83. FAX. 58+261+7597182. e-mail: [luisamsaules@hotmail.com](mailto:luisamsaules@hotmail.com).

## RESUMEN

La Planta de potabilización de Bajo Grande se encuentra en funcionamiento desde el 2002 y hasta la fecha no ha sido evaluada, generándose problemas operativos, así como desconocimiento de la calidad del tratamiento. Los usuarios desconfían del agua a causa de la mancha de las piezas sanitarias y utensilios de comida. En virtud de ello, se evaluaron las diferentes condiciones operativas de la planta, con la finalidad de proponer soluciones técnicas que permitan mejorar la calidad del efluente. Para ello, se realizó un diagnóstico de las unidades, bajo las condiciones operativas actuales y posterior a su mantenimiento, monitoreándose los parámetros físico-químicos y bacteriológicos. La calidad bacteriológica en la alimentación es excelente, debido a la ausencia de coliformes totales (CT) y fecales (CF). El cloro es aplicado en exceso, previo a los filtros, lo cual se justifica para la oxidación del hierro y garantizar el cloro residual, pero su inyección debe realizarse en el tanque de cloración, el cual está fuera de funcionamiento. La limpieza de las unidades incrementó la remoción de color 17% turbidez 15%, hierro 25%. Sin embargo, color (24,5 UC) y hierro (0,67 mg/L) se encuentran por encima de la norma. Considerando lo antes citado, se sugiere que el agua no sea usada para el consumo humano. Esta calidad puede ser mejorada adicionando unidades de tratamiento avanzado para la remoción de los metales pesados (intercambio iónico entre otros), así como la puesta en marcha de la unidad de adsorción de carbón activado existente para la remoción de fenoles, a fin de reducir las sustancias indeseables en el agua.

**PALABRAS CLAVES:** Potabilización, condiciones operativas, agua para consumo, desinfección y coagulación.

## ABSTRACT

The purification plant Bajo Grande is in operation since 2002 and to date has not been evaluated. This plant has been operational problems, and bad quality of treatment. The water users are wary because the taint of fixture and eating utensils. According that is necessary evaluating different operating conditions of the plant, in order to propose technical solutions to improve the quality of the effluent. The work was conducted in two steps: A diagnosis of the units under current operating conditions, and after maintenance, monitoring physical parameters, chemical and bacteriological. The bacteriological quality in the affluent is excellent, due to the absence of total coliforms (TC) and fecal (FC). Chlorine is applied in excess, prior to the filters, which is justified for the oxidation of iron and ensure residual chlorine, but the injection should be made to the

chlorination tank, which is out of operation. We also studied the application the overdose of poly aluminum (PAC), resulting in a residual aluminum and affecting over operational costs. After cleaning the unit was increased color removal 15%, turbidity removal 17%, iron 25% and 100% residual aluminum. However, mercury (0,004 mg / L), phenols (0.084 mg / L), color (24.5 UC) and iron (0.67 mg / L) are above the norm. Considering the above, we suggest that water is not used for human consumption. This quality can be improved by adding advanced treatment units for removal of heavy metals (ion exchange etc.). The activated carbon adsorption unit for removing phenols can be implementing in order to reduce undesirable substances in water.

**KEY WORDS:** Purification, operative conditions, drink water, disinfection and coagulation.

## INTRODUCCION

La planta de potabilización Bajo Grande fue diseñada en el año 2002 y trata agua proveniente de un pozo subterráneo, con la finalidad de tratarla para su posterior servicio (riego, uso en las instalaciones sanitarias, entre otros) y no para consumo humano. Esto se realiza mediante un proceso de aireación inducida en la que se aplica un agente coagulante aprovechando la turbulencia generada por la alimentación y las burbujas de aire que originan la mezcla rápida, seguido de una etapa de floculación, sedimentación, desinfección y finalmente una etapa de filtración.

La planta presenta problemas operativos, además su efluente posee color oscura, característico del hierro, que ocasiona manchas en piezas sanitarias y es objetado por los consumidores. Aún cuando el agua se usa para servicio; los trabajadores lavan sus manos y los utensilios de comida; es por esto que en este caso debe cumplirse con las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable para consumo humano.

Problemas similares se presentaron en la Costa Oriental del Estado Zulia-Venezuela, los cuales fueron resueltos mediante cambios operativos y adición de coagulante . Así mismo, Santiago y col., (2012), realizó un estudio con diferentes tipos de coagulantes, en aguas subterráneas, reportando que el sulfato de aluminio, tuvo mejor actuación en la remoción de hierro en comparación al policloruro de aluminio y cloruro férrico. Boloña y González, (2009), recomendaron la adición de filtros en la Planta B de Maracaibo, para reducir la concentración de hierro de la planta.

La presente investigación se propone adecuar las condiciones operativas de la planta de potabilización Bajo Grande, con la finalidad de proponer soluciones técnicas para mejorar la calidad del efluente con calidad de agua para servicio, en agua apta para el consumo humano.

## METODOLOGIA

La planta de potabilización Bajo Grande fue diseñada en el año 2002 y presenta considerables problemas operativos, los cuales producen un efluente con color desagradable que ocasiona manchas en piezas sanitarias, siendo objetado por los consumidores, caso similar fue reportado por Chacon y Hernandez (2010). Esta agua se usa para servicio (riego, limpieza, entre otros fines), así como el lavado de las manos y utensilios de comida de los trabajadores, desconociendo la calidad de la misma. Esta planta no ha sido evaluada desde su puesta en marcha. En este sentido se planificó la investigación en tres fases experimentales (Figura 1) las cuales se describen a continuación:

- Fase I. Diagnóstico de la calidad del tratamiento físico-químico y bacteriológico de la planta bajo condiciones de operación actual (Planta sucia). Las muestras se captaron a la entrada y salida de la planta.
- Fase II. Evaluación de los procesos unitarios de la potabilización (Aireación, Coagulación, Floculación, Sedimentación, Desinfección y Filtración).
- Fase III. Evaluación de los procesos unitarios del tratamiento posterior al mantenimiento de las unidades.

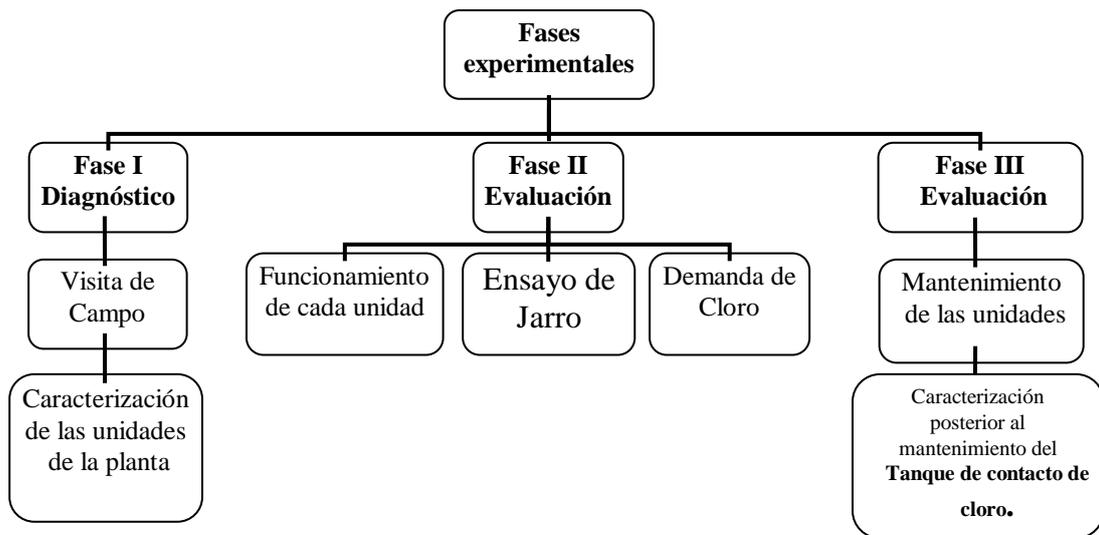


Figura 1. Diagrama de fases experimentales.

## Muestreo y Análisis

### Fase I.

Las muestras se captaron en la entrada y salida de la planta para el diagnóstico. Posteriormente se captaron a la entrada y salida de cada unidad con la finalidad de analizar las condiciones operativas de los procesos unitarios (Figura 2). Posteriormente se captaron a la entrada y salida de cada unidad con la finalidad de analizar las condiciones operativas de los procesos unitarios (Figura 2).

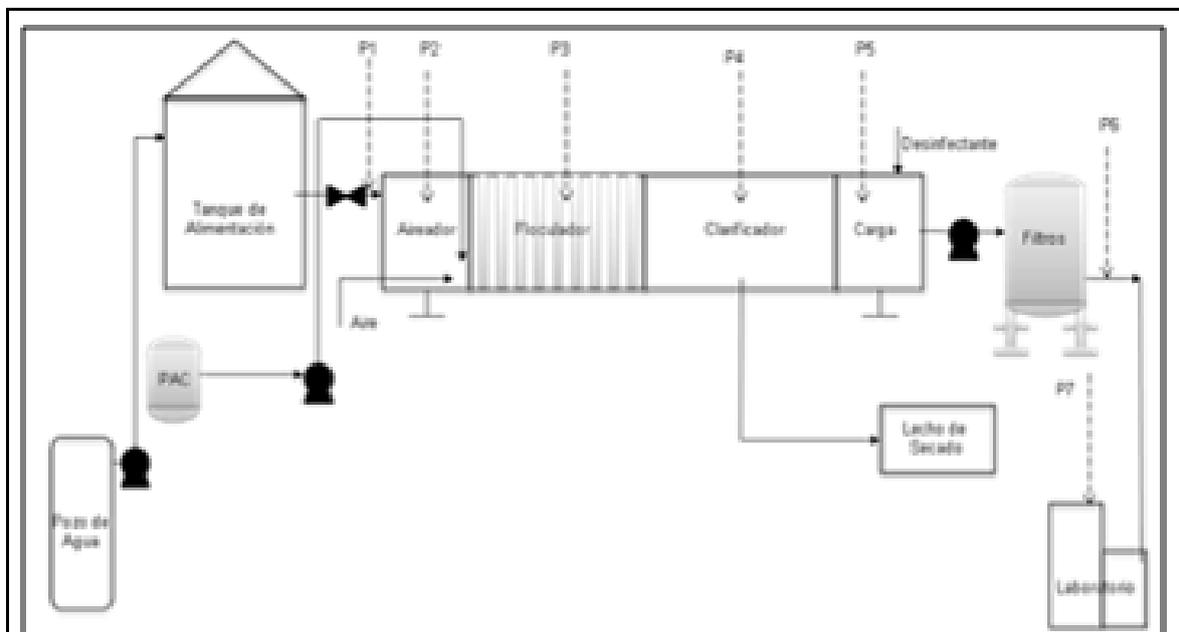


Figura 2. Diagrama de fases experimentales.

El monitoreo de las tres fases se realizó por un período de seis meses, recolectándose una muestra semanal, las cuales fueron analizadas en el Centro de Investigación del Agua (CIA) de La Universidad del Zulia (LUZ). Se ensayaron parámetros como: pH, color, turbidez, dureza, alcalinidad, hierro, manganeso, cloruros, sulfatos,

fenoles, metales en general y coliformes totales y fecales de acuerdo al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18va Edición. Whashington. Estados Unidos. Editorial.1992.

### Fase II

En esta etapa se analizaron los parámetros en desviación con la norma, obtenidos en la Fase I. Adicionalmente se determinó por triplicado la dosis óptima de coagulante, requerida para el tratamiento.

### Fase III

En esta etapa se evaluó el efecto del mantenimiento sobre la calidad físico-química y bacteriológica del agua antes y después de la limpieza de las unidades de la planta

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Fase I: Diagnóstico

En la Tabla 1, se muestran los valores promedios de los parámetros en desviación en referencia a la normativa vigente de Venezuela. Los resultados revelan, que el color oscuro de las piezas sanitarias se debe al hierro presente en el agua, que origina el color en la misma. El hierro debe reducirse en la unidad de aireación por oxidación, sin embargo, se observa, que la concentración de hierro antes y después de la aireación es similar. Esto indica que existe un problema operativo en la unidad mencionada, considerando que la aireación es realizada mecánicamente con difusores los cuales no se les había realizado el mantenimiento desde su puesta en marcha. En varias plantas de potabilización se han encontrado problemas operativos, tal como lo indican Arboleda. (2000); Boscan y Sanchez. (2007); Bracho y col. (2009); Bracho. (1998); Castillo y col. (2000).

En la unidad de floculación, el hierro continúa con la misma tendencia, generándose un cambio en la unidad de sedimentación-desinfección de 4,3mg/L a 2,5mg/L. Finalmente se alcanza una disminución del contenido de hierro total hasta 2,1 mg/L, después de la batería de filtros, lo que indica que se cumple con la normativa legal vigente que es de 0,3mg/L. Este mismo comportamiento fue reportado por Fuenmayor y Torres. (2008) quienes obtuvieron en el efluente de la planta “La Salina” una concentración promedio de hierro de 0,70 mg/L. El proceso de clarificación requiere de una evaluación completa, a causa de la poca remoción de color y turbidez.

**Tabla 1. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos en desviación con la Norma\***

Parámetros n=8	Afluente	Aireación Coagulación	Floculación	Sedimentación Desinfección (Pastillas de cloro en los sedimentadores)	Filtración	*VMA
Color (UC)	298	359	321	206	81	15
Turbidez (UNT)	46	51	44	30	12	5
Hierro (mg/l)	4,5	4,4	4,3	2,5	2,1	0,3
Índice de Saturación	-1.5	-1.2	-1.1	-1.1	-0.8	N/A
C. Totales (UFC/100ml)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
C. Fecales (UFC/100ml)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

\*VMA: Valor máximo permisible por la Gaceta Oficial de República Bolivariana de Venezuela N° 36395.

Es importante mencionar que el afluente de la planta es pre-clorado, por un sistema automático que no permite captar la muestra de agua cruda, por tal razón, no presenta contaminación bacteriológica, evidenciado por la ausencia de coliformes totales y fecales. Finalmente, este diagnóstico revela un agua con tendencia a disolver

carbonato de calcio, es decir con un índice de saturación negativo; que amerita el cálculo de la dosis óptima de cal para su tratamiento, así como la dosis de coagulante y cloro las cuales son adicionadas empíricamente.

### Fase II: Evaluación de los procesos unitarios para la potabilización.

En la Figura 3, se observa que la dosis óptima, corresponde a 4 mg/L de PAC, mientras que la aplicada, es 5 veces dicha dosis. El exceso de dosis incrementa los costos de operación de la planta y además conduce a re-suspender el material previamente aglutinado, comprobando la mala operación de la misma.

La dosificación de cloro, se lleva a cabo en forma empírica con pastillas de Tri-cloro en el tanque de sedimentación. Esto implica una aplicación, mayor a la requerida (Figura 3), puesto que el proceso de clarificación culmina con la filtración y no en la sedimentación; donde existe materia orgánica susceptible a ser removida por decantación y filtración. Para reducir la dosis, se propone, realizar la inyección a la salida del sistema de filtración.

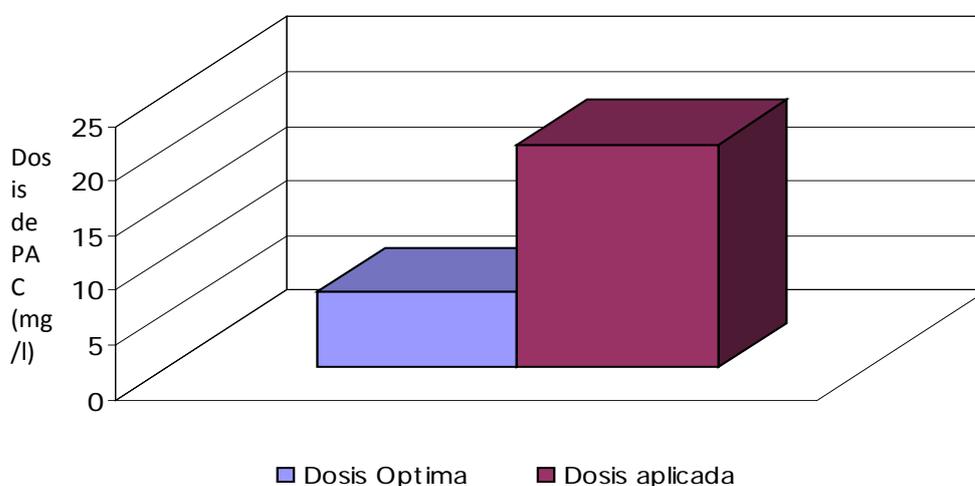


Figura 3. Comparación de la dosis óptima de coagulante obtenida en el laboratorio vs. la dosis aplicada en la planta.

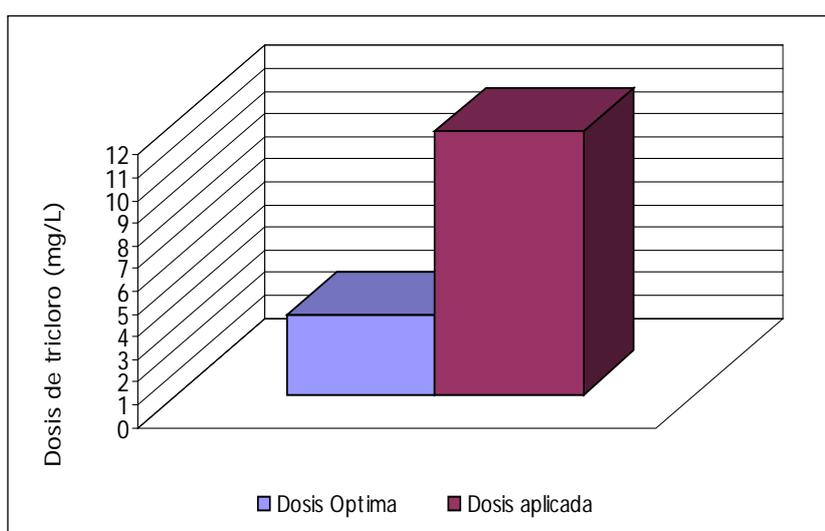


Figura 4. Comparación de la dosis óptima de cloro obtenida en el laboratorio vs. la dosis aplicada en la planta.

### Fase III: Efecto del mantenimiento sobre la calidad del agua.

En las Figuras 5 y 6, se observa, una reducción del color, turbidez después del mantenimiento (limpieza) de las unidades de la planta, sin embargo el efluente no alcanza los niveles máximos permisibles, para el color y el hierro.

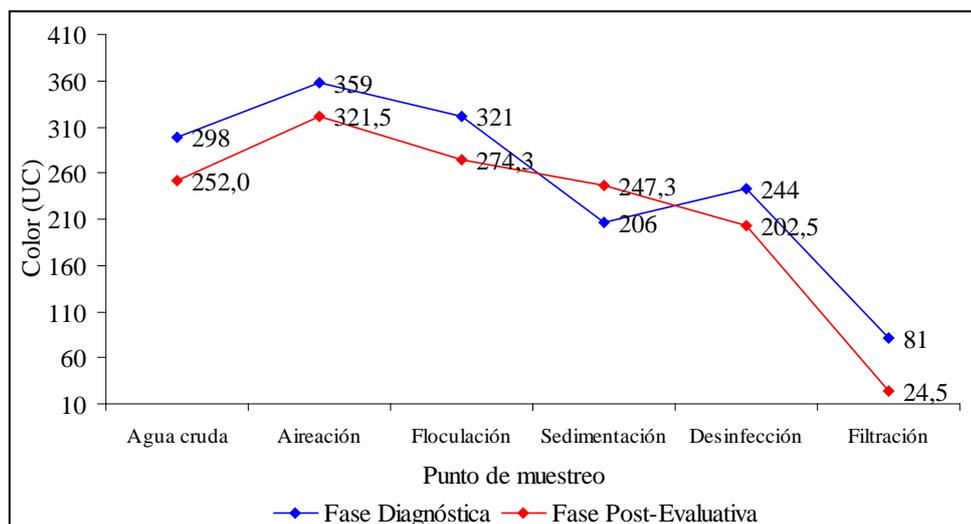


Figura 5. Tendencia del color antes y después de la limpieza de la planta

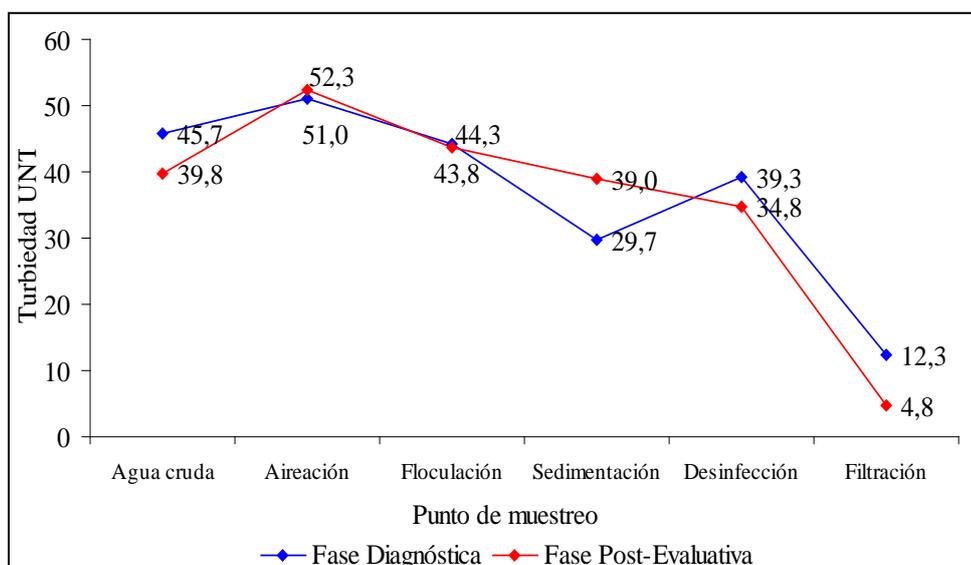


Figura 6. Tendencia de la turbidez antes y después de la limpieza de la planta

### CONCLUSIONES

- Se analizaron en la fase diagnóstica un total de 26 parámetros, de los cuales 23 %, no cumplen la normativa legal vigente. color 81 UC, turbiedad 12 UNT, hierro 2,1 mg/l, Índice de Saturación -0,8; este último representa una amenaza de corrosión en la red de distribución.
- Los costos de operación de la planta pueden reducirse calculando la dosis óptima de coagulante y cloro, así como la limpieza rutinaria de los difusores, a fin de garantizar la oxidación física del hierro. Por otra parte se recomienda, la aplicación de cloro en el tanque de contacto de cloro y no en el sedimentador, puesto que se gasta más cloro debido a la presencia de materia orgánica.
- El mantenimiento de la planta ejerce un efecto positivo en la calidad del efluente, sin embargo no cumple con los niveles permisibles.

## BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. 18va Edición. Whashington. Estados Unidos. Editorial. 1992.
2. ARBOLEDA, J. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3<sup>era</sup> Edición. Tomo I. McGraw-Hill. Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia. Cáp. 2,3,4, 5 y 6. (2000).
3. BOLAÑOS, R. Y GONZALEZ, A. Evaluación de la etapa de filtración en el tratamiento de aguas subterráneas a escala piloto. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Químico. LUZ. (2009).
4. BOSCAN, S., SANCHEZ, K. Evaluación de las etapas del proceso de potabilización Alonso de Ojeda. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Químico. LUZ. Págs. 11-13, 91-118. 2007.
5. BRACHO, N. Optimización del Proceso de Desinfección de la Planta Alonso de Ojeda. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ingeniería. La Universidad del Zulia. 1998.
6. BRACHO, N., CASTILLO, J., VARGAS, L. Y MORALES, R. Formación de Trihalometanos durante el proceso de desinfección en la potabilización de agua. Revista Técnica de Ingeniería-LUZ. Volumen: 32, N° 3 pp. 231-237. 2009.
7. CASTILLO, J., BRACHO, N., VARGAS, L., ROMERO, N. Y ALDANA, G. Selección del Coagulante para el Proceso de Clarificación de las Aguas de la Planta "C" de Maracaibo. Volumen 23. Pp. 169-178 Rev. Técnica de Ingeniería LUZ. 2000.
8. CHACÓN, Y. HERNÁNDEZ, F. Evaluación a escala piloto de la remoción de hierro, manganeso, aceites y grasas en aguas subterráneas. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Químico. LUZ. (2010).
9. FUENMAYOR, Y., TORRES, O. Evaluación, de la Calidad del Abastecimiento de Agua para consumo humano en un taller industrial. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Químico. LUZ. Págs. 8, 16, 35-39, 55-91. 2008.
10. SANTIAGO, D., BRACHO, N., TAPIA, I., SAULES, L. Y TRUJILLO, A. Evaluación del cloruro férrico como coagulante en el proceso de potabilización. Revista Ciencia- Universidad del Zulia. Volumen 20(1) (Enero- Marzo) 2012.