

# Caracterización y cuantificación de los efluentes de un complejo petroquímico

Angelina Correia<sup>\*a</sup>, Cristina De Sousa<sup>b</sup>, María Cristina Colmenares<sup>a</sup>, Yuleyza Aramendi<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Centro de Investigaciones Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIAUC)

<sup>b</sup>Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo

---

## Resumen.-

La investigación tuvo como objetivo caracterizar y cuantificar los efluentes de un complejo petroquímico a fin de plantear alternativas que garanticen su adecuación a la normativa ambiental en vista del mal funcionamiento de las fosas de neutralización. Para ello se identificaron las descargas y posteriormente se realizó su caracterización basado en métodos COVENIN. Adicionalmente, se determinó el caudal de los efluentes disgregados en tuberías y en canales empleando el método de trazadores de colorantes. Se encontró que los efluentes son de carácter ácido en todas las instalaciones a excepción de la planta de agua desmineralizada que tienen pH básico. Por otra parte, la planta de fertilizante presentó valores sobre los límites permisibles en la regulación en los parámetros fisicoquímicos evaluados: aceites y grasas, fósforo, nitrógeno total, sólidos y sulfatos. Se proponen mejoras en los procedimientos de manejo de materias primas y lavado de los equipos, reactivación de la fosa de neutralización y la reutilización de los efluentes.

**Palabras clave:** productos petroquímicos, efluentes, caracterización, neutralización, reutilización

## Characterization and quantification of the effluents coming from the phosphates area of a petrochemical complex

### Abstract.-

The objective of this investigation was to characterize and quantify the effluents of a petrochemical complex in order to propose some options that can guarantee the effluents' adequacy to the environmental regulation due to the malfunctioning of the neutralization basins. First of all, the discharges were identified as well as their characterization based on the COVENIN methods. Additionally, it was determined the flow rate of the effluents coming from the different pipes and channels by using the dye tracing method. It was found that the effluents in all of the plants exhibit acid character with the exception of the demineralized water plant in which the pH was basic. On the other hand, the fertilizer plant showed values of the physicochemical parameters which were evaluated are above of the values allowed by the regulations (oil & grease, phosphorus, total nitrogen, total solids and sulfates). It was proposed improvements in the procedures of raw material handling and equipment washing, as well as reactivation of the neutralization basins and reuse of the effluents.

**Keywords:** petrochemical products, effluents, characterization, neutralization, reuse,

Recibido: 29 julio 2009

Aceptado: 06 febrero 2010

## 1. Introducción

El Complejo Petroquímico en estudio se encarga de la fabricación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados y otros derivados del petróleo de utilidad industrial, tales como: sulfato de amonio, ácido fosfórico y ácido sulfúrico. Para ello, el

---

\*Autor para correspondencia

Correos-e: [acorreia@uc.edu.ve](mailto:acorreia@uc.edu.ve) (Angelina Correia),  
[mcolmena@uc.edu.ve](mailto:mcolmena@uc.edu.ve) (María Cristina Colmenares)

complejo cuenta con las siguientes instalaciones: planta de sulfato de amonio (PSA), planta de relicuefacción de amoníaco (PRA), plantas de ácido sulfúrico (PAS1 y PAS2), planta de fertilizantes (PF), planta de ácido fosfórico (PAF), planta de agua desmineralizada (PAD) y la torre de enfriamiento (TE).

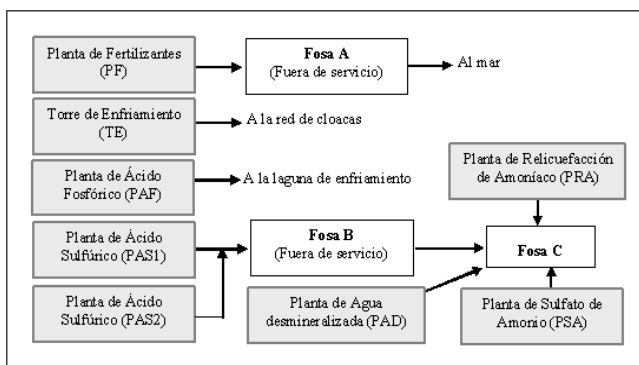


Figura 1: Distribución del sistema de efluentes del complejo petroquímico

Los efluentes que se generan en los distintos procesos que se llevan a cabo en estas plantas son recolectados en las fosas de neutralización existentes (Fosa A, Fosa B y Fosa C), las cuales fueron diseñadas para ajustar, mediante la autoneutralización, el pH de los efluentes, bien sean de carácter ácido o básico, para su posterior descarga a las aguas marinas. En la Figura 1, se muestra la distribución del sistema de efluentes en el área de fosfatados.

La planta de fertilizantes PF, que según condiciones de diseño debería disponer su efluente hacia la fosa A, actualmente realiza tal disposición al mar por la red de aguas pluviales debido a que dicha fosa se encuentra llena de sedimentos y carentes de los equipos mínimos necesarios (agitadores y bombas). Esta situación ocasiona que los efluentes se filtren por áreas indebidas provocado el socavamiento de las vías de comunicación del complejo, huecos y rupturas de las mismas, además de la percolación a través de las bases, y finalmente llegando al mar sin su debido tratamiento. Por otra parte, el efluente de la planta de ácido fosfórico (PAF) se dispone en la laguna de enfriamiento y es reutilizada como agua ácida para el lavado de los equipos.

En cuanto a la fosa B, fue diseñada para disponer en ella los vertidos líquidos de las plantas de ácido sulfúrico, pero debido a que se encuentra fuera de servicio, los mismos son reconducidos hacia la fosa C, donde también llegan los efluentes de las plantas de PAD, PSA y PRA. Sin embargo esta fosa C tampoco se encuentra en condiciones óptimas, ya que presenta deterioro de las tuberías y presencia de sedimentos, por lo que los efluentes se hacen circular por un canal a esta fosa para su posterior descarga al mar sin ningún tipo de tratamiento.

Debido al mal funcionamiento de estas fosas, se requiere conocer la calidad de los vertidos líquidos originados en cada una de estas plantas a través de un proceso de identificación de las fuentes generadoras de efluentes, caracterización fisicoquímica y cuantificación de los mismos, que sirvan de base para proponer alternativas que permitan, en principio, la protección de los ecosistemas marinos disminuyendo los contaminantes que podrían entrar en las aguas con los vertidos, el establecimiento de mejoras de gestión en el consumo de agua a través de técnicas de reutilización, la adecuación a la normativa ambiental [1] y finalmente un ahorro monetario, debido a las posibles sanciones a las cuales se pueden incurrir.

Las técnicas de reutilización de aguas residuales son cada vez más utilizadas [2] debido a las múltiples ventajas que ofrecen tales como sustitución de caudales; la conservación y aumento de los recursos de agua disponibles mediante el uso de agua regenerada en aquellos usos que no requieran agua de calidad potable, sustituyendo a esta última; el aumento de los recursos de agua existentes y la aparición de nuevas fuentes de suministro para poder cumplir las demandas actuales y futuras; protección de medios acuáticos al reducir los vertidos de agua residual; sin contar las ventajas económicas debido a lo costoso que representa el tratamiento de los aguas residuales a los niveles exigidos en la normativas ambientales vigentes.

## 2. Metodología

El desarrollo de la investigación contempló las siguientes etapas:

### 2.1. Diagnóstico inicial

Se revisaron los manuales de operación y se inspeccionaron cada una de las plantas del complejo, elaborándose una hoja informativa sobre el proceso de producción en cuanto a: equipos que lo conforman, actividades que generan efluentes y donde se originan.

### 2.2. Comportamiento de los efluentes

Los efluentes de las plantas de sulfato de amonio (PSA) y relicuefacción de amoniaco (PRA) se descargan hacia la fosa C por tuberías, mientras que para el resto de las plantas del área de fosfatados, el drenaje de los efluentes se realiza en canales abiertos.

Para la medición del caudal en tuberías se empleó la siguiente ecuación [3]:

$$q = Av = AC = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

donde:

q: caudal del fuente, ( $m^3/s$ )

v: velocidad media de flujo, ( $m/s$ )

A: área del orificio, ( $m^2$ )

C: coeficiente del orificio (valor gráfico)

$\Delta P$ : diferencia de presión, (bars)

$\rho$ : densidad del fluido, ( $Kg/m^3$ )

Para medir la velocidad de flujo en canales abiertos se empleó el método de trazadores de colorantes [4]. Una vez elegida una sección del canal en el que el flujo es prácticamente constante y uniforme, se inyecta el colorante, Rodamina WT [5], en el extremo inferior y se determina el tiempo de su llegada en el extremo inferior. El ancho del canal y la altura del fluido permiten determinar el área.

### 2.3. Caracterización de los efluentes

La toma de las muestras se realizó en base a la normativa venezolana COVENIN 2709: 2002 [6], que establece técnicas generales de muestreo y preservación de la muestra aplicables a aguas naturales, industriales y residuales; y se realizó durante un periodo de un mes. La caracterización de las

muestras se realizó en el laboratorio del complejo, el cual trabaja bajo los requisitos y términos establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2005 en cuanto a la trazabilidad de los resultados y utilizando los métodos establecidos en la normativa COVENIN. Los análisis realizados fueron: aceites y grasas [7], fósforo [8], pH [9], nitrógeno total (orgánico y amoniacal) [10], sólidos [11] y sulfatos [12]. Posteriormente se compararon los resultados obtenidos con la normativa ambiental vigente en cuanto a las normas el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos [1]. Para el caso de la planta de agua desmineralizada se determinó también la alcalinidad [13] y la conductividad [14]

## 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. Diagnóstico inicial

Tabla 1: Actividades que generan efluentes en el complejo petroquímico

Instalación	Actividad
Sulfato de Amonio (PSA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lavado de las centrífugas</li> <li>Rebose de la piscina de aguas madres</li> </ul>
Relicuefacción de Amoniaco (PRA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua de enfriamiento</li> </ul>
Ácido Sulfúrico (PAS1 y PAS2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Purga continua</li> <li>Agua de enfriamiento</li> </ul>
Fertilizantes (PF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua de enfriamiento</li> <li>Lavado de los ventiladores y del piso</li> </ul>
Agua desmineralizada (PAD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lavado,</li> </ul>

En la Tabla 1 se presentan las actividades que generan efluentes en las cinco plantas en estudio. Es importante destacar que la planta de ácido fosfórico reutiliza sus efluentes y la torre de enfriamiento por las características del proceso no genera efluentes con características tóxicas.

Las actividades generadores de vertidos líquidos lo representan el lavado de los equipos (centrífugas, bombas, calderas, ventiladores, unidades de intercambio catiónico y aniónico) así como lavado de los pisos y el agua de enfriamiento de las bombas. No se observó la descarga directa de productos de reacción.

### 3.2. Comportamiento de los efluentes

Tabla 2: Caudal promedio de los efluentes

Instalación	Caudal (L/s)
Sulfato de Amonio (PSA)	0,4825
Relicuefacción de Amoníaco (PRA)	0,0874
Ácido Sulfúrico (PAS1)	1,1207
Ácido Sulfúrico (PAS2)	2,7515
Fertilizantes (PF)	1,4777
Agua Desmineralizada (PAD)	Lavado: 31,0853 Regeneración: 19,558 Enjuague: 22,346

En la Tabla 2 se muestra el caudal promedio de los efluentes en las instalaciones como consecuencia de las actividades que se presentaron en la Tabla 1, el cual sirve como una medida de la cantidad de agua que se utiliza en los lavados y que se puede recuperar, mediante reutilización en los procesos.

La planta que más genera vertidos líquidos es la PAD cuando se realiza todo el proceso para producir el agua desmineralizada que requiere el complejo para su operación. Seguidamente se encuentra la PSA2 debido al drenaje del agua de enfriamiento de la bomba y la PF principalmente del lavado de los ventiladores. Por su parte, en la PAS1, el mayor caudal de efluentes se origina en el drenaje de agua de enfriamiento. Se hace énfasis en la actividad que genera mayor caudal porque es la condición crítica que se puede presentar y evitar en la planta, ya que algunos casos se debe a fugas y derrames por parte de los operarios, originando, en algunos casos, un caudal con comportamiento variable.

### 3.3. Caracterización de los efluentes

En la Tabla 3 se reportan los parámetros fisico-químicos evaluados (aceites y grasas, fósforo, pH, nitrógeno total, sólidos y sulfatos) de los efluentes de las instalaciones: PSA, PRA, PAS1, PAS2 y PF.

Como se puede apreciar de la Tabla 3, todos los efluentes son de carácter ácido y con valores por debajo del límite inferior establecido la normativa ambiental. Por otra parte, la planta de fertilizante (PF) presenta desviaciones por encima de límite permisible según el decreto No. 883 [1] en todos los demás parámetros evaluados.

En el diagnóstico inicial realizado en el complejo petroquímico, se pudo verificar ciertas irregularidades desde el punto de vista de procedimientos. Primeramente existe un manejo inadecuado del aceite de lubricación en los equipos de la planta de fertilizante (PF), ya que al momento de la aplicación se produce un goteo que cae directo al piso y que luego con el lavado es arrastrado hasta el canal por donde fluye el efluente. Por otra parte, los tambores que almacenan este aceite se encuentran ubicados en las adyacencias del canal y no quedan bien cerrados derramándose en el piso, el cual finalmente se adiciona al efluente, pudiéndose ser éstas las causas del alto valor encontrado de aceites y grasas en esta planta.

De igual forma, durante la adición de las materias primas se verifican pérdidas de compuestos fosfatados y nitrogenados, los cuales durante el lavado de pisos y equipos, termina en el efluente lo cual se ve reflejado en los altos valores encontrados de estos parámetros en las plantas de fertilizantes, sulfato de amonio y relicuefacción de amoníaco (PF, PSA y PRA).

En cuanto a los sólidos totales, la PSA presenta un alto contenido debido al lavado de las centrífugas que se encargan de separar los cristales de sulfato de amonio de las aguas madres. De igual forma, en el la PF, el proceso de lavado de los equipos arrastra fertilizante que tiene como destino final el canal por donde fluye el efluente.

Finalmente, la presencia del ión sulfato en los efluentes de las PF y PSA se debe al uso del ácido sulfúrico como parte de la materia prima empleada

Tabla 3: Caracterización de los efluentes de las instalaciones evaluadas

Parámetro	Instalación					Valor permisible [1]
	PSA	PRA	PAS1	PAS2	PF	
pH	5,01	5.53	5.94	2.20	3.62	6 - 9
Aceites y grasas (mg/L)	5,88	7.11	7.17	7.58	48.24	20
Fósforo (mg/L)	8,25	1.25	1.23	1.88	3962	10
Nitrógeno (mg/L)	5,562701	190	13	15	2428	40
Sólidos (mg/L)	24789	130	248	240	23679	1600
Sulfatos (mg/L)	5378	0	53	378	2458	400

en los procesos de producción de estas plantas, y por otra parte, debido al lavado de los equipos como el preneutralizador (PF) y por el rebose de las aguas madres (PSA).

En cuanto a la planta de agua desmineralizada (PAD), la caracterización se realizó en cada etapa del proceso (lavado, regeneración, enjuague) (Tabla 4). El lavado de los filtros y enjuague se realiza con agua potable y la regeneración de la unidad catiónica se efectúa con ácido sulfúrico, mientras que la unidad aniónica se regenera con hidróxido de sodio, lo que origina que estos efluentes sean de carácter básico. De igual forma a las instalaciones anteriormente estudiadas (3), la planta de agua desmineralizada presenta altos valores de sólidos y sulfatos, particularmente en este caso, debido a la materia prima utilizada en la regeneración de la unidad catiónica.

### 3.4. Propuestas de alternativas

#### 3.4.1. Reducción en el origen

Implica la reducción de derrames durante el proceso de producción y lavado de los equipos y pisos. Como se pudo verificar con el diagnóstico inicial realizado, algunos de los parámetros evaluados (aceites y grasas, sólidos, fósforo, nitrógeno y sulfatos) se deben a derrames de materias primas o aditivos durante el proceso de fabricación.

Según trabajos realizados en refinerías e industrias petroquímicas se debe imponer la cultura de reducción en el origen debido a la presión de medidas ambientales cada vez más rígidas en cuanto a la calidad del agua y al costo que implica el tratamiento de los efluentes [15]. Es así como, la cantidad de aceites y grasas pueden disminuir notablemente si se logra que el personal que labora en la planta mejore en cuanto al manejo de lubricantes en los equipos, medida que resulta más económica que la colocación de una trampa de grasas y aceites.

#### 3.4.2. Acondicionamiento de las fosas de neutralización

A excepción de la planta de fertilizante y la torre de enfriamiento, todas las plantas envían sus efluentes a la fosa C, la cual es la que se encuentra operante pese a los problemas de infiltración de los efluentes, causado por las malas condiciones de las tuberías de drenaje hacia la misma. Es por ello que se recomienda la colocación de nuevas tuberías que permitan conducir en su totalidad los efluentes hacia la fosa C para su posterior tratamiento.

No obstante, la neutralización del efluente es sólo una etapa en el tratamiento del agua residual [16], ya que su función es ajustar el pH dentro de un rango establecido. No obstante, y según el análisis

Tabla 4: Caracterización de los efluentes de la planta de agua desmineralizada (PAD)

Parámetro	Lavado	Regeneración	Enjuague	Valor Permisible [1]
pH	7.94	7.13	11.02	6 - 9
Aceites y grasas (mg/L)	0.89	2.12	3.89	20
Fósforo (mg/L)	0.13	9.12	3.18	10
Nitrógeno (mg/L)	33.2	23.6	34.7	40
Sólidos (mg/L)	98	17233	8765	1600
Sulfatos (mg/L)	23	13267	624	400

Tabla 5: Caracterización del efluente de la fosa C

Parámetro	Fosa C	Valor Per- mitible [1]
pH	4.75	6 - 9
Aceites y grasas (mg/L)	5.78	20
Fósforo (mg/L)	4,35	10
Nitrógeno (mg/L)	1354	40
Sólidos	5609	1600
Sulfatos	2365	400

fisicoquímico del efluente de la fosa C (Tabla 5), el pH no es el único parámetro que se encuentra fuera de la norma ambiental, manteniéndose el mismo comportamiento observado en la Tabla 3 (pH, nitrógeno, sólidos y sulfatos fuera del valor permisible). Es importante recordar que a la fosa C también llegan los efluentes de la planta de agua desmineralizada (PAD) la cual presenta el mayor caudal debido a las distintas fases de lavado, regeneración y enjuague de las unidades de intercambio aniónico y catiónico.

Se recomienda, por tanto, la remodelación de la fosa C a fin de ajustar el pH al rango 6-9, lo cual puede realizarse utilizando ácido sulfúrico o soda cáustica en función de que ambos reactivos son de fácil acceso y transporte dentro de las instalaciones del complejo. Sin embargo esta neutralización también puede realizarse con el efluente ácido obtenido en la mayoría de las instalaciones o con las aguas básicas del proceso de enjuague de las unidades regeneradoras. Sería conveniente, además, que todo el efluente generado en el área de fosfatados, incluyendo la planta de fertilizantes y la torre de enfriamiento, puedan ser enviados a la

fosa C.

No obstante, y a fin de adecuar los demás parámetros a la normativa ambiental, se recomienda realizar un tratamiento del efluentes antes de su disposición hacia el mar, principalmente por el alto contenido de nitrógeno y fósforo, los cuales son requeridos por los organismos, y actúan como nutrientes limitantes controlando la producción de los ecosistemas; sin embargo, las actividades antropogénicas pueden romper este equilibrio generando problemas de eutrofización en las zonas marino-costeras [17]. Es ello, que la normativa ambiental [1] clasifica a tales constituyentes como sustancias que no presentan un efecto tóxico conocido, sino que generan condiciones en el cuerpo receptor que puede afectar la biota, y por lo tanto los límites de descargas pueden ajustarse a las características del medio marino-costero y a la capacidad de asimilación de éste, aplicando como criterio general que las descargas no alteren la calidad del mismo.

Es por ello que se debe realizar un estudio para verificar que se mantengan las características del cuerpo receptor y en el caso de que esto ocurra efectuar el tratamiento necesario. Es importante mencionar, que existen tecnología de membranas para el tratamiento y reutilización de aguas residuales en la industria petroquímica, acoplada o no a un reactor biológico, que proporciona un efluente que permite ser reutilizado como agua de proceso [18] o ser dispuesto al mar de una manera ambientalmente adecuada.

### 3.4.3. Reutilización de los efluentes

Se realizó tomando en consideración los análisis fisicoquímicos realizados a los efluentes y a la

calidad del agua de entrada requerida en los distintas instalaciones del complejo.

**Planta de Sulfato de Amonio (PSA).** Este efluente se origina principalmente por el agua de lavado de las centrífugas que se descarga a la piscina de aguas madres provenientes de la centrifugación de los cristales de sulfato de amonio y que además, constituye una de las causantes del incremento del nivel de agua en dicha piscina. Se recomienda la recirculación del agua de lavado mezclándolo con agua potable, produciendo así disminución en el nivel de la piscina de las aguas madres, evitando así su rebose.

**Planta de Relicuefacción de Amoniaco (PRA).** Se propone utilizar el efluente de esta planta para ser utilizada en la dilución del ácido sulfúrico requerida en la planta de sulfato de amonio. Aunque el pH es ácido (3) permite la utilización de menor cantidad de agua de dilución y el contenido de nitrógeno no es influyente, ya que amoniaco es una materia prima del proceso donde se inserta.

**Plantas de Ácido Sulfúrico (PAS1 y PAS2).** Se puede reutilizar el efluente de la PAS1 para ser utilizado como agua de enfriamiento en los diversos equipos de las plantas del complejo; no obstante, como el pH del efluente es ligeramente ácido, se requiere neutralizar para ajustar el valor de este parámetro al que exige el funcionamiento de la torre. El contenido de sólidos (248 mg/L), alcalinidad (52 ppm CaCO<sub>3</sub>) y conductividad (182  $\mu\text{mho/cm}$ ) se encuentran dentro del rango requerido por la torre de enfriamiento.

Por otra parte, el efluente de la PAS2 es muy ácido para ser reutilizado para este fin, no obstante, se pudo comprobar que el pH de los vertidos originados en la planta tienen un valor cercano a 7, y que este pH disminuye cuando el mismo fluye por el canal, ya que el mismo contiene depósitos de sólidos y sedimentos, además de que existen fugas de ácido de las torres de absorción de la planta. Por otra parte, la cercanía que existe entre el canal y el tanque de almacenamiento del azufre, ocasiona que por arrastre, este azufre se adicione al efluente. Se recomienda en esta planta la técnica de reducción en el origen.

**Planta de fertilizante (PF).** Se plantea enviar el

efluente hacia la planta de ácido fosfórico, donde se emplearía para diluir el yeso y posteriormente ser enviado a la laguna de fosfoyeso donde finalmente se dispone para su almacenamiento. Sin embargo, como se puede apreciar en la tabla 3, este efluente presenta un alto contenido de aceites y grasas, lo cual constituye una desventaja importante. Como se mencionó anteriormente, la cantidad de estos contaminantes se puede reducir si el personal que labora en la planta mejore en cuanto al manejo de los lubricantes de los equipos; y en caso de no disminuir sustancialmente se puede colocar una trampa de grasas y aceites. La reutilización de este efluente representa un ahorro en cuanto al flujo de agua ácida que se usa para la dilución del yeso.

**Planta de Agua desmineralizada (PAD).** A la torre de enfriamiento se puede enviar el efluente del lavado de los filtros, ya que éstos cumplen con los requerimientos del agua de proceso de la torre en todos los parámetros evaluados en la 3 y además en alcalinidad (43 ppm de CaCO<sub>3</sub>) y conductividad (135  $\mu\text{mho/cm}$ ). No sucede así, con el agua que proviene de las etapas de regeneración y enjuague de las columnas aniónicas y catiónicas ya que dicha agua contiene alto contenido de sólidos, y presenta conductividad (50000  $\mu\text{mho/cm}$ ) y alcalinidad (14000 ppm CaCO<sub>3</sub>) por encima del límite superior exigido por la empresa en el agua de enfriamiento.

En la Tabla 6 se presenta un resumen de las características fisicoquímicas críticas de los efluentes en el proceso donde se proponen pueden ser reutilizados.

#### 4. CONCLUSIONES

Los efluentes de la planta de agua desmineralizada presentan el caudal promedio más alto en comparación con las otras plantas del complejo petroquímico.

Los efluentes son de carácter ácido a excepción de la planta de agua desmineralizada cuyos vertidos líquidos presentan pH básico.

Tabla 6: Características fisicoquímicas críticas en la reutilización de los efluentes

	Instalaciones			
	PRA	PAS1	PF	PAD
Características críticas del efluente	pH y nitrógeno	pH	pH	pH, sólidos, alcalinidad y conductividad.
Proceso hacia el cual será reutilizado	Dilución de ácido en la PSA	Torre de enfriamiento	PAF	Torre de enfriamiento (aguas de lavado)
Valor requerido en proceso propuesto de reutilización	pH: 7.0 – 7.8 N: 157 mg/l	Requiere neutralización del pH	pH: 5.0	pH: 7.8-8.5 Sólidos: 1500 mg/L Alcalinidad: 600 ppm máx. Conductividad: 1500 $\mu$ mho/cm máx

La planta de fertilizante presenta desviaciones respecto al límite permisible según el decreto No. 883 en todos los parámetros fisicoquímicos evaluados (aceites y grasas, fósforo, nitrógeno total, sólidos y sulfatos).

Los efluentes de las plantas de sulfato muestran las mayores desviaciones respecto a la normativa ambiental en los parámetros: nitrógeno total, sólidos y sulfatos.

Los efluentes generados durante las etapas de regeneración y enjuague de la planta de agua desmineralizada se caracterizan por tener concentraciones de sulfatos y sólidos totales por encima de lo establecido en la normativa.

El análisis fisicoquímico del efluente de la fosa de neutralización C, evidencia que el pH no es el único parámetro que se encuentra fuera de la norma ambiental, manteniéndose el mismo comportamiento observado en la mayoría de las plantas del área (nitrógeno, sólidos y sulfatos fuera del valor permisible).

Se proponen mejorar en los procedimientos de manejo de materias primas y lavado de los equipos, reactivación de la fosa de neutralización C y la reutilización de los efluentes.

## Referencias

- [1] Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°5021, Decreto NN°883 *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos* Venezuela, 1995.
- [2] “Aguas continentales: Gestión de recursos hídricos, tratamientos y calidad de agua” Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) Madrid, 2008
- [3] “Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías” Engineering Department CRANE ®. Traducido el español por VALFISA, S. A. McGraw-Hill Co. USA, 1998
- [4] Maloney J. “Perry’s chemical engineers’ handbook” 8th edition. McGraw-Hill USA, 2008
- [5] BENTOS “Informe técnico: Metodologías utilizadas en estudios de dispersión: elección del mejor trazador químico” Servicios y equipos marinos Ltda USA, 2007
- [6] Norma venezolana COVENIN 2709-2002 “Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo”. 1era revisión. Editorial FONDONORMA. Caracas, 2002.
- [7] Norma venezolana COVENIN 2831-2002. “Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación del contenido de aceites y grasas e hidrocarburos extraíbles con n-hexano” Editorial FONDONORMA. Caracas, 2002
- [8] Norma venezolana COVENIN 3051-1993 “Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de fósforo”. Editorial FONDONORMA. Caracas, 1993
- [9] Norma venezolana COVENIN 2462-2002. “Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación del pH”. Editorial FONDONORMA. Caracas, 2002
- [10] Norma venezolana COVENIN 3080-1994. “Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico”. Editorial FONDONORMA. Caracas, 1994
- [11] Norma venezolana COVENIN 2461-1987 “Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de sólidos”. 1era edición. Editorial FONDONORMA. Caracas, 1987
- [12] Norma venezolana COVENIN 2460-2005. “Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de sulfatos”. 1era revisión. Editorial FONDONORMA. Caracas, 2005
- [13] Norma venezolana COVENIN 2780-2002. “Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de la alcalinidad”. Editorial FONDONORMA. Caracas, 2002

- [14] Norma venezolana COVENIN 3050-1993. “Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de la conductividad eléctrica”. Editoria FONDONORMA Caracas, 1993
- [15] Pedrola J. “Reducción en el origen: Conseguir el cumplimiento de las reglamentaciones medioambientales con un rápido retorno de la inversión” Revista de Ingeniería Química, No. 282. Univesidad de La Rioja, 2001
- [16] MELCAFT & EDDY “Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización”. Volumen I y II. Tercera Edición. Editorial Mc Graw Hill. España, 1995
- [17] Mokaya S., Mathooko J. & Leichtfried M. “Influence of anthropogenic activities on water quality of a tropical stream ecosystem” Afr. J. Ecol. 42. 2004
- [18] Fitzke B., Wienands H., García J. y Cambiella A. “Tratamiento y reutilización de aguas residuales en al industria petroquímica” Revista de Ingeniería Química, No. 466. Universidad de La Rioja, 2009