

JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GÜEY, ESTADO ARAGUA

Kevin Arjona*, Rosmely Bastardo y Rebeca Sánchez
Facultad de Ingeniería - Universidad Central de Venezuela
*kev13duff@gmail.com

RESUMEN

Se analizó el comportamiento de la calidad del agua del Río Güey como consecuencia de las descargas domésticas, agrícolas e industriales recibidas a lo largo de su trayectoria hasta su desembocadura en el Lago de Valencia, estado Carabobo. A partir de la caracterización de la calidad físicoquímica de estas descargas se estimaron las cargas máxicas de parámetros como: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total, nitrógeno total, sólidos totales y coliformes, y se compararon con lo establecido en las normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia. Adicionalmente se determinó el comportamiento del oxígeno disuelto para los últimos 5 km antes de la desembocadura del río en el lago utilizando el modelo de Streeter-Phelps. Los resultados sugieren que las descargas agrícolas e industriales no contribuyen significativamente con el deterioro de la calidad del agua del río. En el primer caso no se observó evidencia de uso excesivo de fertilizantes, mientras que en el segundo, se atribuye al progresivo cese de operaciones del sector. El río Güey transporta una alta carga orgánica (5,8 kgDQO)/d, y de fósforo total (300 g/d) superando los criterios establecidos en la normativa vigente, sin lograr, la recuperación de los niveles de oxígeno disuelto menores a 3mg/l que establece la norma. Estos resultados sugieren, entre otros, la necesidad de realizar las acciones necesarias para lograr la incorporación de las descargas de los sectores poblacionales al colector marginal paralelo al Río Güey, a los fines de disminuir el aporte contaminante de esta corriente.

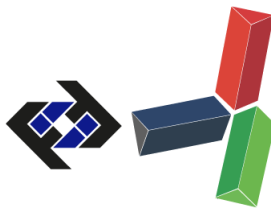
Palabras Clave: Efluentes industriales, Contaminación del agua, Cuenca Río Güey, Calidad del agua, Comba del oxígeno

ABSTRACT

The behavior of the water quality of the Güey River was analyzed as a consequence of the domestic, agricultural and industrial discharges received throughout its trajectory until its mouth in the Lake of Valencia, Carabobo State. From the characterization of the physicochemical quality of these discharges, the mass loads of parameters were estimated, such as: biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total phosphorus, total nitrogen, total solids and coliforms, and were compared with that established in the standards for the classification and quality control of the waters of the Lake of Valencia basin ". Additionally, the behavior of the dissolved oxygen for the last 5 km before the mouth of the river in the lake was determined using the Streeter-Phelps model. The results suggest that agricultural and industrial discharges do not contribute significantly to the deterioration of river water quality. In the first case, there was no evidence of excessive use of fertilizers, while in the second, it is attributed to the progressive cessation of operations in the sector. The Güey River transports a high organic load (5,8 kg DQO) / d, and total phosphorus (300 g / d) exceeding the criteria established in the current regulations, without achieving, the recovery of dissolved oxygen levels less than 3 mg / l that establishes the norm. These results suggest, among others, the need to carry out the necessary

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>



actions to achieve the incorporation of discharges from the population sectors to the marginal collector parallel to the Güey River, in order to reduce the contribution of this current.

Keywords: Industrial effluents, Water pollution, Basin River Güey, Water quality, Oxygen camber

INTRODUCCIÓN

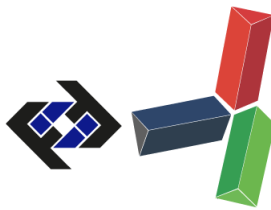
Esta investigación se enfoca en analizar el comportamiento de la calidad del agua del Río Güey, uno de los tributarios más contaminados que descargan al Lago de Valencia [1], cuya clasificación de acuerdo al Decreto 3219: “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia”, es de agua tipo 2, subtipo 2B, que son aptas para el riego de cultivos que no se consuman crudos. En el presente estudio, se aplicará el modelo de Streeter-Phelps para observar la capacidad de autodepuración del río, se analizará el comportamiento de los principales parámetros que determinan la calidad del agua, y se presentará una propuesta preliminar que permita disminuir los altos niveles de contaminación.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en 3 etapas: 1. Identificación de cargas orgánicas, 2. Evaluación de la capacidad autopurificadora del río y 3. Formulación de propuestas para mejorar la calidad sus aguas.

Etapa 1: Las descargas clasificadas en: domésticas (generadas por poblaciones ubicadas a lo largo del río descartándose previamente aquellas que no descargan en el cuerpo de agua bajo estudio), industriales (las generadas por las empresas que descargan sus efluentes al río en forma directa o indirecta a través de colectores paralelos al río) y agrícolas (descargas no puntuales provenientes de campos agrícolas). Los datos poblacionales se tomaron de los registros del Instituto Nacional de Estadística y de los consejos comunales asociados. El número de empresas que descargan en el río se obtuvo del Registro de Actividades Capaces de Degradar al Ambiente (RACDA) que adelanta el Ministerio de Ecosocialismo y Aguas (MINEA). La actividad agrícola se identificó a partir de estudios realizados por el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) y la Facultad de Agronomía de la UCV (FA-UCV). Para la descripción de la calidad de aguas de las descargas, se utilizó la información suministrada por el Laboratorio de Calidad Ambiental del MINEA y laboratorios privados que atienden a las empresas que descargan sus efluentes en el río. Se estimaron las cargas máxicas de los principales parámetros que definen la calidad del agua: pH, DBO_{5,20}, DQO, fósforo total, nitrógeno total, sólidos totales (suspendidos y disueltos) y coliformes totales y fecales. Las cargas máxicas orgánica y de nutrientes se compararon con lo establecido en el Decreto 3219 (artículos 30, 31, 33) mientras que la carga microbiana en términos de coliformes, se asoció a la población equivalente. Los valores obtenidos fueron analizados en función de su variación temporal y espacial.

Etapa 2: A los efectos de analizar la capacidad de autopurificación del río, éste se dividió en dos tramos, de acuerdo a las mediciones realizadas por el Laboratorio de Calidad Ambiental. Para conocer la pendiente de cada uno se utilizó la plataforma de Google Earth®, los programas globalmapper y Google Maps para obtener las curvas de nivel correspondientes [2]. Dado que el río se encuentra canalizado completamente [1], se buscaron sus dimensiones en investigaciones previas y dónde no se encontró información se realizó la medición directa. Para la cuantificación de los caudales, se tomaron de los reportes del Laboratorio de Calidad Ambiental y de los laboratorios privados, considerando las dos estaciones climáticas del país: lluvia y sequía. Con los caudales y los parámetros de calidad de cada descarga se calcularon las cargas máxicas

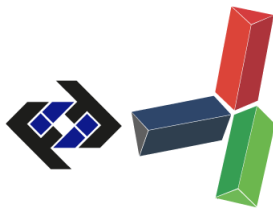


diarias. Para hallar el oxígeno disuelto saturado en el origen se utilizó la ecuación propuesta por Elmore y Hayes (1960), la cual considera despreciable la clorinidad, aplicable para el origen del río en el pozo del diablo [3]. Cuando la clorinidad no era despreciable se utilizaron tablas de la concentración del oxígeno disuelto en equilibrio en función de la temperatura y concentración de cloruros a nivel del mar [4]. El cálculo del caudal, temperatura y concentración de oxígeno disuelto en el punto de mezcla, se realizó con base a balances de masa en el mencionado punto. Para determinar el déficit de oxígeno fue necesario calcular las constantes de desoxigenación y de reaireación utilizando el método gráfico de Thomas y la ecuación empírica de Shindala y Truax. Para el método de Thomas se usó el ensayo de la $DBO_{5,20}$ para cada período [5], mientras que para obtener la constante de reaireación se estimó el tiempo de traslado, calculando la velocidad de traslado mediante la resolución del sistema de ecuaciones compuesto por la ecuación que define al caudal, la ecuación de Manning, la ecuación del radio hidráulico, y la ecuación del área y perímetro mojado para una sección trapezoidal [6]. Al conocer el déficit de oxígeno se calculó el oxígeno disponible en la desembocadura del río, y se construyó la curva de combado de oxígeno al sustituir el tiempo de recorrido para cada tramo; a su vez se buscó el punto más desfavorable en la curva. En función de los resultados obtenidos del modelo de Streeter-Phelps, se seleccionó el período donde el río alcanza la máxima concentración de oxígeno en su desembocadura y se estimó la concentración del oxígeno disuelto mínimo que requiere el río para cumplir con la clasificación asignada en el Decreto, hallándose la DBO última ejercida requerida al inicio del segundo tramo para alcanzar la concentración de oxígeno requerida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Río Güey al igual que los colectores marginales de líquidos residuales municipales, tiene un recorrido predominante de norte a sur con algunos tramos de oeste a este, excepto en su desembocadura al lago. Las poblaciones ubicadas en la zona norte del río descargan en el colector marginal izquierdo del Río Güey y en el colector Güey abajo. No obstante, se observó que las poblaciones ubicadas cerca de su desembocadura no están empotradas al colector cloacal, debido a que no existen colectores marginales en la parte sur del río (12,2 a 14 km desde el origen del río). En este tramo la población que descarga sus efluentes es la comunidad de “Brisas del Lago”. En cuanto a la actividad industrial, se registraron 13 empresas que descargan al Río Güey para el año 2012; siendo del sector químico: S.C. Johnson & Sons, C.A.L.A, Clariant, Kimberly Clark, Fosforera Maracay, Alfrío, Laboratorios Depal, DSM Nutritional, Alimentos Polar, Industrias Oregon; del sector metalúrgico: Lincoln Soldaduras, Alreyven; y un matadero: Beneficiadora y Frigorífico Industrial Maracay.

Con relación a las descargas agrícolas, el Río Güey recibe sólo aquellas generadas en los campos agrícolas del CENIAP y en la FA-UCV [7]. Por ser descargas no puntuales, éstas se generan sin conocer dónde se originaron o su contribución en la degradación del cuerpo de agua [8]. Entre los principales problemas asociados a estas descargas, destaca la presencia de fertilizantes fosfatados y nitrogenados que al ser aplicados en exceso de la capacidad de absorción de los cultivos, se difunden en el cuerpo de agua por factores como la lixiviación, los vientos, las precipitaciones y la escorrentía superficial, generando erosión y transporte de arcillas enriquecidas químicamente [9]. Estudios realizados sobre la calidad del Río Güey en puntos antes y después de su recorrido por los campos agrícolas del CENIAP, evidenciaron que estas descargas no contribuyen en forma



significativa con la degradación de la calidad del agua del río; sin embargo, se observó un crecimiento significativo en las concentraciones de la DQO y del fósforo total.

De las empresas en estudio, no todas presentan continuidad en el reporte de sus caracterizaciones, la Beneficiadora y Cala incumplen con el artículo 36 del Decreto 3219. En el caso de Cala para el año 2012 supera en un 1,3% el límite establecido en 10 mg/l para el nitrógeno total, y para el año 2013 el límite de 1 mg/l fijado para el fósforo total se supera en un 144%. Mientras que Beneficiadora y Frigorífico Industrial Maracay presenta un incumplimiento continuo del valor señalado en 60 mg/l para la $DBO_{5,20}$, superando el valor límite entre 11,6% a 85% durante los años 2015 y 2012; de manera similar ocurre con la DQO superándose el valor establecido en 350 mg/l entre un 6,3% a 141% para los años 2015 y 2012. Dos empresas incumplen con los límites establecidos en el artículo 38 del Decreto 3219, éstas son: Laboratorios Depal y DSM Nutritional Products, la primera incumple los 350 mg/l establecidos como máximo para la $DBO_{5,20}$ oxígeno en un 11,7% durante el año 2014. Mientras que DSM Nutritional Products incumple con el nitrógeno total durante los años 2014 y 2015 superando con 55,6% y 12,5% el valor máximo establecido en 40 mg/l. Industrias Oregon aportó mayor carga másica durante el año 2012 en términos de $DBO_{5,20}$ con 107 kg/día. No obstante, la Beneficiadora generó aportes significativos de carga másica en términos de $DBO_{5,20}$ durante los años 2012 al 2015, alcanzando un máximo en el año 2013 con 80 kg/día. Las descargas domésticas se estimaron en función del número de habitantes aplicando el concepto de población equivalente como “la carga orgánica biodegradable que tiene una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO_5) de 54 g de oxígeno por día” [10], con lo cual se estimó la concentración de $DBO_{5,20}$. También se aplicó este concepto para los parámetros: DQO, nitrógeno total, fósforo total, sólidos suspendidos; que a pesar de no estar cuantificados en el decreto 3219 se puede usar las tasas de aporte másico de una población con características similares. Por ello se usó como referencia para el aporte másico unitario el de la zona urbana de Manzanares ubicada en el estado Miranda [11], la cual se escogió debido a que presenta un aporte de 52 g de oxígeno por persona-día, muy cercana a los 54 g de oxígeno por persona-día que establece el Decreto. Los valores de las cargas orgánicas adoptados por habitante y día de referencia fueron para la DQO de 105 g/hab/día, para el Nitrógeno Kjeldajl Total de 5,72 g/hab/día, para el Fósforo Total de 0,89 g/hab/día, para los sólidos suspendidos de 32 g/hab/día. El número de habitantes de la comunidad de Brisas del Lago de acuerdo al Consejo Comunal Triunfadores del Sur para el año 2012 fue de 2.378 habitantes, aplicando el modelo geométrico con una constante estadística del 1,2% utilizada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para los años 2011 y 2012, se obtuvo la población para los años en estudio. Mientras que para los caudales se consideró el suministro del Sistema Regional del Centro al municipio Girardot, el cual fue de 1.285 l/s [12], obteniéndose una dotación de 475 l/hab-día, la cual es superior a estudios similares consultados [13], ya que abarca las diferentes actividades (industriales, domésticas, agrícolas). Los parámetros físicoquímicos estimados para la población de Brisas del Lago son: la DQO con una variación entre 276 a 296 mg/l, la $DBO_{5,20}$ con una variación entre 142 a 152 mg/l, el Nitrógeno Total entre 15 a 16 mg/l, el fósforo total en 2 mg/l, los sólidos suspendidos entre 84 a 90 mg/l. El pH presenta una variación entre 6,6 y 7,5 para los años 2012-2015 manteniéndose neutro casi constante entre los muestreos realizados, dado al pH neutro que poseen las descargas domésticas e industriales. El Decreto estipula los valores límites para la sumatoria del aporte másico de todos los tributarios, estando la $DBO_{5,20}$ en un valor límite de 25.000 mg/l (ver figura 1).

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

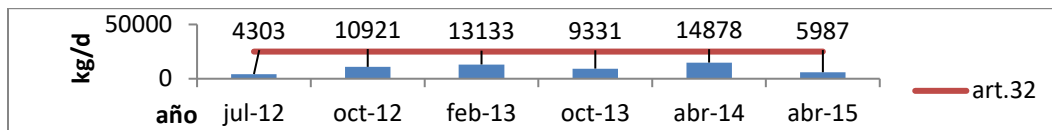
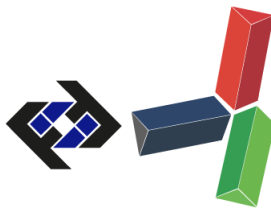


Figura 1. Carga másica en términos de la $DBO_{5,20}$ (kg/día) evaluada en cada muestreo del período 2012-2015 comparado con lo establecido en el Decreto 3.219.

En el período evaluado, conociendo en detalle las caracterizaciones de las empresas durante los años 2012 al 2015 se tiene que la mayor cantidad promedio de $DBO_{5,20}$ en función de las cargas másicas correspondió al año 2014 con 14.878 kg/día, y la menor cantidad se obtuvo en el año 2012 con 4.303 kg/día. Estos valores de $DBO_{5,20}$ generalmente se incrementan cuando disminuye el caudal en cualquiera de los tramos evaluados, como ocurre con las descargas domésticas. En todo el periodo evaluado hubo una variación considerable de este parámetro, si se compara la carga másica alcanzada en 1998 (la cual fue la carga máxima alcanzada para el período comprendido entre 1997 a 2011) que fue de 46.656 kg/día con el período entre los años 2012-2015, se observa una disminución entre un 68% a 91%. Analizar las causas que ocasionan elevados valores de carga másica implica observar cuál de los dos tipos de descargas que afectan al río ocasiona una intervención mayor. Tomando como ejemplo el año 2014, en el que se generó una carga másica de 14.878 kg/día en términos de $DBO_{5,20}$ en la desembocadura del río, para el primer tramo donde predominan las descargas domésticas no empotradas al sistema cloacal se aportaron unos 2.919 kg/día en términos de $DBO_{5,20}$, el cual fue calculado por la diferencia de masas entre las cargas del primer y segundo tramo (calculada usando las mediciones de caudal y $DBO_{5,20}$ medidas por el Laboratorio de Calidad Ambiental). Para el conjunto de empresas la $DBO_{5,20}$ representó tan sólo 71 kg/día, y la población de Brisas del Lago unos 138 kg/día. Faltarían unos 11.750 kg/día para completar los 14.878 kg/día en la desembocadura del río, los cuales se atribuyen posiblemente a descargas mixtas de industrias que no reportan sus caracterizaciones y de poblaciones empotradas a colectores que descargan al Río Güey mientras no se culmine la conexión de éstos al colector interceptor sur I. Entre los nutrientes importantes para el estudio de este río se tienen el nitrógeno total y el fósforo total como se muestra a continuación, ambos son necesarios para el crecimiento de algas, pero contaminantes si sobrepasan ciertos límites estipulados en las diversas normas de los cuerpos de agua, ocasionando en el río ciertos niveles de eutrofización [5]. Dentro del período de estudio 2012-2015, en julio del año 2012 se obtiene la menor cantidad de fósforo total, con un valor de 98 kg/día, mientras que el máximo se obtuvo para abril del año 2014 con un valor de 399 kg/día. El nitrógeno total tuvo valores mínimo y máximo de 622 y 2.238 kg/día para julio del 2012 y abril de 2014 respectivamente. El fósforo total presenta un incumplimiento continuo de los 304 kg/día establecidos en el Decreto 3219 a partir del año 2014, a pesar de alcanzar disminuciones desde el año 2012 al 2013, los cuales se encuentran por debajo del límite máximo establecido en el Decreto. El aporte másico que generan las 13 empresas para los años 2012 y 2015 fue de 2,35 kg/día y 2,39 kg/día, mientras que el aporte que genera la población de Brisas del Lago fue de 1,81 kg/día para el 2012 y de 1,94 kg/día para el año 2015; hallando la carga másica promedio de este parámetro en la desembocadura del lago para los años 2012 y 2015 se tienen 243 kg/día y 333 kg/día, evidenciándose la falta de cargas másicas para completar el balance, los cuales se atribuyen a descargas domésticas de urbanismos que, a pesar de existir el colector paralelo al Río

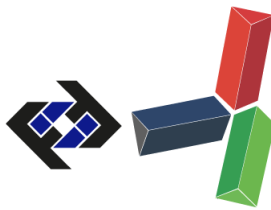


Güey, no se encuentran empotradas al mismo; por otra parte pueden existir empresas que incumplan con el artículo 46 del Decreto y no estén enviando sus caracterizaciones trimestrales. Para los sólidos se evalúan tres tipos, totales, disueltos totales y suspendidos totales. Los sólidos totales alcanzan su valor máximo de 44.271 en abril del 2014 y el mínimo de 13.582 para julio del 2012. Para el período de abril del 2014 el aporte másico de sólidos totales de las empresas fue de 2.425 kg/día, mientras que el de la población de Brisas del Lago aporta tan sólo para los sólidos suspendidos 82 kg/día, es notorio que para cumplir con el balance de masas para los sólidos totales sin considerar a la población de Brisas del Lago (dado que no se pudo estimar a estos sólidos) hacen falta 41.846 kg/día. Analizando la calidad del agua del río en su desembocadura, en términos de concentración de sólidos totales presentó valores entre 524 a 940 mg/l durante el período comprendido entre el año 2012 al 2015, a pesar que en el Decreto para una clasificación del agua como 2B no se establece un valor para la concentración de los sólidos (en otras clasificaciones si se observa, por ejemplo la 1A), no se recomienda el uso del agua para uso de riego de cultivos cuando la concentración de los sólidos totales sean superior a 600 mg/l [15], por lo que el río no es apto para el uso asignado en su clasificación a partir del año 2013. La variación de coliformes fecales y totales se le atribuyen al trayecto que posee descargas domésticas, ya que las empresas no presentan descargas significativas de este tipo de parámetro (muchas no reportan este parámetro en sus caracterizaciones a pesar de estar incluido en el Decreto). Para determinar la carga microbiana se determinó la población equivalente para poder comparar con el artículo 33 del Decreto 3219. A partir del año 2014 hay un aumento en la carga microbiana llegando a superar en abril de 2015 con 485.000 habitantes el límite de una población equivalente de 100.000 habitantes establecido en el Decreto. Del balance de masas aplicado a cada parámetro en estudio existe un aporte significativo de contaminantes que no está registrado, los cuales corresponden a descargas domésticas en ambos tramos y descargas industriales no reportadas en el segundo tramo. Por lo que se buscaron las poblaciones involucradas en ambos tramos y se realizó una estimación de las cargas másicas que se generaron para el año 2012. Debido a que no se cuenta con el número de habitantes de cada sector involucrado se fijó un porcentaje de la población de cada parroquia, estos porcentajes fueron estimados considerando el número de habitantes de los centros electorales de cada zona residencial [16]. Este procedimiento dio como resultados las cargas másicas estimadas en la Tabla 1 para el año 2012, las cuales se sumaron a las de las empresas y la de la población de Brisas del Lago y se compararon con las cargas no reportadas experimentalmente.

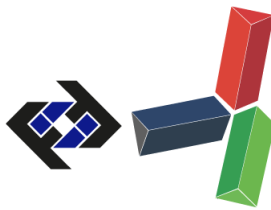
Tabla 1. Comparación entre las cargas experimentales y las estimadas

Parámetro (kg/día)	Cargas no reportadas	Empresas reportadas	Brisas del Lago	Total	Resultado promedio experimental
DBO _{5,20}	7.270	259	128	7.657	8.188
DQO	14.136	1.137	249	15.522	19.829
N	770	34	14	818	1.141
P	120	2	2	124	243
SS	4.308	776	76	5.160	5.789

De los 14.000 metros de longitud, unos 5.168 metros están libres de contaminación y posteriormente unos 2.950 metros hay descargas agrícolas que no son significativas en cuanto a



la degradación del río como se explicó anteriormente. El tramo en estudio se dividió en dos, en función de los muestreos realizados por el Ministerio, el primer tramo se ubica a 8.950 metros desde el origen y a 5.050 metros de la desembocadura al lago, tiene una longitud de 3.250 metros, inicia en los terrenos de la UCV y culmina en la Zona industrial La Hamaca, siendo receptor de descargas no empotradas al sistema cloacal. Un segundo tramo de 1.800 metros de longitud se ubica a 12.200 metros desde el origen y a solo 100 metros de la desembocadura al lago, es receptor de descargas industriales y domésticas al final de su recorrido y de descargas de colectores marginales que no están conectados al colector interceptor sur I. Para obtener las constantes cinéticas consideradas en el modelo de Streeter-Phelps para ambos tramos se utilizaron los parámetros medidos por el Ministerio. Para calcular la velocidad de la oxidación bioquímica de la materia orgánica en condiciones aerobias se utilizó el Método de Thomas, se recomiendan valores de la constante de desoxigenación entre 0,2-3,3 d^{-1} [5], obteniéndose una variación de la constante de desoxigenación entre 0,23-0,37 $día^{-1}$ para el primer tramo, y entre 0,30-0,43 $día^{-1}$ para el segundo tramo. Se considera que un agua residual doméstica fuerte presenta una constante de desoxigenación de 0,39 $día^{-1}$ [5], situación que casi se alcanza para el primer tramo en períodos de sequía; mientras que se estima que un efluente primario alcanza una constante de desoxigenación de 0,35 $día^{-1}$ [5], valor que se supera en la mayoría de los períodos en estudio para el segundo tramo. Para el cálculo de la constante de reaireación se utilizó la ecuación empírica de Shindala y Truax, por ser está la indicada para corrientes pequeñas como el Río Güey [17], y se ajusta mejor al rango recomendado para la velocidad y profundidad del tramo, siendo éste entre 1-10 $día^{-1}$ [5]. Para aplicar este método se estimó la velocidad media y la profundidad media (mediante la resolución de un sistema de ecuaciones compuesto por la ecuación de Manning, radio hidráulico, las ecuaciones para una sección trapezoidal) para el primer tramo, y con las mediciones de profundidad y caudales se calculó la velocidad media para el segundo tramo. La constante de reaireación presentó un rango entre 1,25-2,40 $día^{-1}$ para el primer tramo y de 2,12-3,68 $día^{-1}$ para el segundo tramo, el segundo tramo presentó una constante mayor respecto al primero, debido a que hay un aumento del caudal lo cual significa un aumento en la capacidad de asimilación de la materia orgánica [4], también influye el aumento en la profundidad media del río que se ve reflejado en la ecuación de Shindala y Truax (1980). Ambas constantes corresponden con valores que se atribuyen a ríos con altas velocidades [5], esto se justifica debido a que el río Güey se encuentra canalizado totalmente en su recorrido por la ciudad de Maracay [6], y esta modificación de su recorrido natural significa que la velocidad del agua y la pendiente del cauce aumentarán [19]. La concentración del oxígeno disponible inicial presenta un intervalo de 2,70-3,50 mg/l, lo que representa entre 43,6-56,5% respecto al oxígeno saturado, esto indica que el río se encuentra afectado aguas arriba del tramo en estudio; no obstante, esta afectación no la generan las descargas agrícolas como se explicó anteriormente, ya que en el muestreo del año 2005 se obtuvo una $DBO_{5,20}$ de 5 mg/l lo que indica baja contaminación y un oxígeno disuelto cercano al de saturación. Al realizar visitas experimentales en febrero del año 2017 se observaron peces de la especie de *poecilia reticulata*, conocido como pez millón [14], los cuales requieren de un oxígeno disuelto mínimo para vivir de 4 mg/l [8], siendo esto una característica que confirma que en el punto de muestreo hay un oxígeno disuelto cercano a un 62% respecto al de saturación. El oxígeno al final del tramo alcanza valores entre 0,15-1,18 mg/l, siendo el período más desfavorable el de febrero del 2013, mes dentro de la época de sequía, donde el caudal disminuye y se produce un aumento de la temperatura



ambiental. El punto más favorable fue en julio del 2012. En la figura 2 se observa que la curva aumenta su inclinación a partir de los 3.250 metros, descendiendo la concentración de oxígeno a medida que recibe los efluentes de las industrias. En ningún período se alcanzó un punto crítico, pues el tramo en estudio no presenta una zona de recuperación ni una zona de agua limpia; teniendo sólo dos zonas: una zona de descomposición y una zona de degradación activa, donde el oxígeno casi llega a cero [5]. El 40% de la concentración de oxígeno respecto a la saturación es de 2,48 mg/l, y se alcanza dentro de los primeros 2.000 metros del primer tramo. La concentración de oxígeno no se mantuvo constante por encima de los 3 mg/l que establece el Decreto, alcanzando valores inferiores al límite en períodos de sequía.

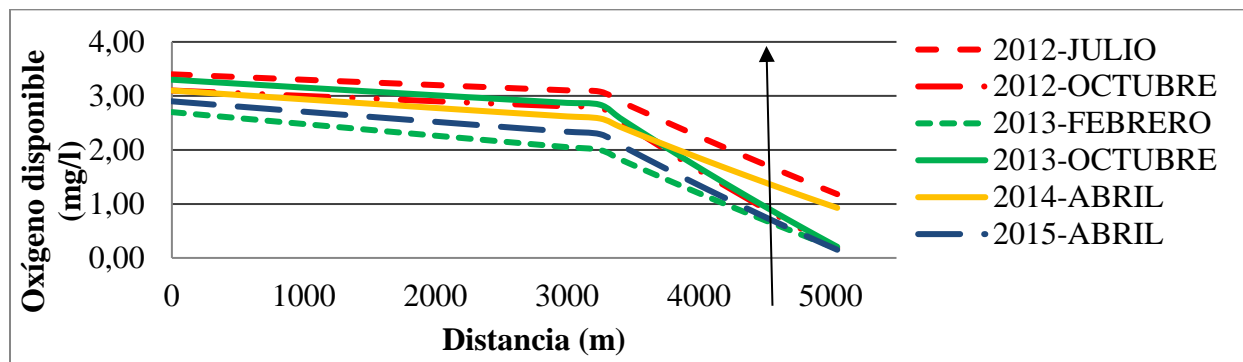


Figura 2. Curva de comado de oxígeno para los años en estudio.

Se observa un aumento en la concentración del oxígeno en los períodos de lluvia, debido a la dilución de las concentraciones orgánicas por parte del agua que cae al río y a un descenso de la temperatura ambiental. El aporte que generan las industrias no es significativo en comparación con el generado por las actividades domésticas, como se observó al estimar las cargas másicas en la Tabla 1. Alcanzar una concentración mínima y cercana a cero de oxígeno disuelto en la desembocadura del río al lago representa un aumento en el nivel de eutrofización de sus aguas, por lo que se plantea el siguiente escenario como una propuesta para mejorar su calidad. Conectar las aguas servidas de las viviendas en los alrededores del río al sistema cloacal permitiría mantener con menor variación al oxígeno disuelto que hay antes de iniciar el primer tramo, cuya concentración se estima en 4 mg/l. Por recibir descargas industriales y domésticas unos metros antes de su desembocadura el río no alcanzará una zona de agua limpia ni una zona de recuperación; sin embargo, puede fijarse una concentración de oxígeno disuelto como límite mínimo en la desembocadura al lago, esta concentración debe ser la establecida en la clasificación del río en el Decreto 3219, la cual es de 3 mg/l. Para lograrlo se debe garantizar que los efluentes industriales cumplan con los parámetros establecidos en el Decreto 3219 y que el colector paralelo al Río Güey incluya un mayor alcance para las descargas domésticas que puedan afectar al río. Para plantear el escenario se utilizaron los datos obtenidos en el período de Julio del 2012 por ser el período donde el río muestra la mayor concentración del oxígeno disuelto en su desembocadura. Para el cálculo del déficit inicial la concentración del oxígeno disuelto debe mantenerse constante en 4 mg/l. A una temperatura ambiental de 25,53 °C y una concentración de cloruros de 25 ppm, se tiene un oxígeno disuelto en saturación de 6,30 mg/l. Generando un déficit de oxígeno inicial de 2,30 mg/l. Considerando que el Decreto establece un

oxígeno disuelto de 3 mg/l para el Río Güey se fija este valor como el mínimo que debería existir en la desembocadura, siendo el déficit de oxígeno en la desembocadura de 3,30 mg/l. De la solución a la ecuación de Streeter-Phleps se despeja la demanda última ejercida que debe tener el río al inicio del segundo tramo, siendo este valor de 77 mg/l. Este valor es inferior al reportado para el período de julio de 2012 que fue de 137 mg/l.

CONCLUSIONES

Las descargas agrícolas no son significativas en la degradación de la calidad del río para la mayoría de los parámetros analizados; sólo existiendo un aumento significativo en la demanda química de oxígeno y el fósforo total luego que el río recibe este tipo de descarga. Las descargas domésticas al río Güey tienen un aporte significativo e incluyen otros sectores además del sector Brisas del Lago, evidenciado por la alta carga orgánica y microbiana transportada por el río. Las descargas industriales al Río Güey, son mayores a las registradas que reportan al Ministerio, evidenciado por la alta carga orgánica y de fósforo que transporta este río. En la desembocadura al lago, los niveles de fósforo total en la mayoría de los períodos en estudio superan el valor máximo permitido en el Decreto 3219 de 304 g/día para la sumatoria de todos los tributarios al lago. La carga microbiana de los coliformes totales a partir del año 2014 supera los límites de 100.000 habitantes establecidos en el Decreto para la sumatoria de todos los tributarios al lago. Los coliformes totales y fecales cumplen con la clasificación de agua tipo 2B. El oxígeno disuelto alcanza las condiciones mínimas en la época de sequía, mostrando una ligera recuperación en los períodos de lluvia. La constante de desoxigenación para el primer tramo presentó un rango entre 0,23 a 0,37 día⁻¹, para el segundo tramo fue entre 0,30 a 0,43 día⁻¹. La constante de reaeración para el primer tramo presentó un valor entre 1,25 a 2,73 día⁻¹, mientras que para el segundo tramo fue entre 2,12 a 3,96 día⁻¹. No se obtuvo un punto crítico en período de tiempo alguno. La clasificación asignada en el Decreto al río como tipo 2B, donde el oxígeno debe ser mínimo de 3 mg/l en toda su longitud se mantiene hasta los primeros 3.000 metros en la época de lluvia, mientras que en la época de sequía no se alcanza esta concentración en todo el trayecto. Para mantener una concentración de oxígeno mínima de 3 mg/l se propone que la demanda última ejercida no supere los 77 mg/l unos 5 kilómetros antes de que el río desemboque en el lago.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2012). Estudio Integral Hídrico de la Cuenca del Lago de Valencia o Tacarigua 2001-2011. Maracay: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.
- [2] Chirinos, A. (2016). Propuestas para el manejo sustentable de las aguas residuales en una vivienda modular y captación de aguas de lluvias. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería.
- [3] Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2005). Informe de Inspección y Calidad de Agua- Río Güey. Maracay: Dirección Estatal Ambiental Aragua.
- [4] Zorrilla, U. (2014). Línea base fisicoquímica de la cuenca del Río Tuy en el tramo de estudio comprendido entre las Tejerías y Ocumare del Tuy. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería.
- [5] Romero, J. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .

- [6] Hernández, G. (2004). Diagnóstico de los recursos hidráulicos de la Cuenca del Río Güey, vertiente sur del Parque Nacional Henri Pittier. Maracay: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía.
- [7] Araujo, E. (1995). Caracterización físico-ambiental e histórica de la Cuenca del Río Güey, Estado Aragua. Maracay: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía.
- [8] Aguilar, A., Pérez, R., & Sánchez, B. (2004). La contaminación agrícola del agua en México: retos y perspectivas. Problemas del desarrollo, 39, 153.
- [9] FAO. (1996). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Recuperado el 17 de marzo de 2017, de Capítulo 3 - los fertilizantes, en cuanto a contaminantes del agua: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.htm>
- [10] República de Venezuela (1999). Decreto 3.219: Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las aguas de la Cuenca del Lago de Valencia. Caracas: Gaceta Oficial N° 5305 Extraordinario.
- [11] Rincones, M., López, E. (2015). Programa de Caracterización. Caracas, Distrito Capital, Venezuela.
- [12] INE. (2011). Instituto Nacional de Estadística . Recuperado el 13 de mayo de 2017, de Informe Geoambiental 2011: estado Aragua: http://www.ine.gov.ve/documentos/Ambiental/PrincIndicadores/pdf/Informe_Geoambiental_Aragua.pdf
- [13] Blanco, H., Lara, M., Velezmore, A., & Aguilar, V. (2014). Consumo de agua en actividades domésticas. Caso de estudio: estudiantes de la asignatura saneamiento ambiental de la UCV. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, 29, 51-56.
- [14] Lugo, M. (1990). Composición y Diversidad faunística del Río Güey, con énfasis en los peces. Maracay: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía.
- [15] FUNPROVER. (16 de julio de 2017). Fundación Produce Veracruz. Obtenido de <http://www.funprover.org/formatos/manualTomate/Calidad%20de%20agua%20para%20riego%20agricola.pdf>
- [16] Consejo Nacional Electoral. (Abril de 2012). Recuperado el 08 de septiembre de 2017, de Registro Electoral Parroquial: http://www.cne.gob.ve/web/registro_electoral_descarga/abril2012/parroquial.php?e=1&m=1
- [17] Environmental Protection Agency. (1985). Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling. Athens: U. S. Environmental Protection Agency.
- [18] Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2016). Estudio Integral Hídrico de la Cuenca del Lago de Valencia o Tacarigua 2001-2011. Maracay: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.
- [19] González, M. (2008). Efectos de Canalización. Recuperado el 10 de agosto de 2017, de Escuela de Negocios: Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2007/2008 : http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45365/componente45363.pdf