
Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba.

Y. Rosabal-Carbonell¹, L. Chang-Huerta^{2*}, N. Perez-Aballe¹ y J.A. Morales-León²

¹Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos ENAST. Laboratorios de Recursos Hidráulicos Granma. Cuba.

²Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Granma. Bayamo, Cuba.

Evaluation of chemical oxygen demand in water in the province of Granma, Cuba.

Abstract

The chemical demand of oxygen (CDO) is one of the main parameters in the quality control of waters; however, it is not applied in the province of Granma, Cuba. With regard to it, an initial study was carried out for its implementation, where three points were investigated in clean waters and four in residual waters. Three samples were taken and ten replicas were carried out in the determination of CDO. The results indicated that in clean waters the CDO is above the maximum permissible average limit for the water dedicated to the human, and adjusted consumption to the range in the case of the one used for the watering. In three of the four places where the samples were taken the oxidation lagoons it is contributed to a high grade of contamination to the receiving bodies.

Key words: Chemical demand of oxygen (CDO), waste waters, contamination.

Resumen

La demanda química de oxígeno (DQO) es uno de los principales parámetros en el control de calidad de las aguas; sin embargo, no se aplica en la provincia de Granma, Cuba. Con respecto a ello, fue realizado un estudio inicial para su implementación, donde se investigaron tres puntos en aguas limpias y cuatro en aguas residuales. De cada uno se tomaron tres muestras y se realizaron diez réplicas en la determinación de DQO. Los resultados indican que en aguas limpias la DQO se encuentra por encima del límite máximo permisible promedio para la destinada al consumo humano, y ajustada al rango en el caso de la utilizada para el riego. En tres de los cuatro lugares muestreados las lagunas de oxidación aportan un alto grado de contaminación a los cuerpos receptores.

Palabras clave: Demanda química de oxígeno (DQO), aguas residuales, contaminación.

*Autores de correspondencia
Email: lchangh@udg.co.cu

Introducción

El agua es una sustancia con un gran número de propiedades únicas que la hacen muy importante en el medio ambiente. Es evidente que juega un papel fundamental para la vida en la Tierra (Campos *et al.*, 2009). El potencial hidráulico de la provincia de Granma, en el sudeste de Cuba, es 4 499 hm³ cada año, correspondiendo 3 895 hm³ a aguas superficiales y 604 hm³ a aguas subterráneas. Con el desarrollo hidráulico alcanzado ha sido posible aprovechar, desde la década de los años 1960, un volumen de 1 120.7 hm³ para distintos usos: 87.5 % se destina al riego de los cultivos de arroz, caña de azúcar, cultivos varios, cítricos, frutales, granos y tabaco; el 11 % para el abasto a la población y las instalaciones pecuarias y el 1.5 % para la crianza de peces. La provincia cuenta con 2 425.6 m³ de agua por habitante. El promedio del consumo de agua potable en el territorio es de 133 m³ por habitante cada año. El 72 % de las cuencas hidrográficas granmenses no sobrepasa los 100 km² y la longitud de las corrientes superficiales no alcanza los 36 km (Quintana, 2005).

El fenómeno de la contaminación de las aguas se ha convertido en un problema cada vez más complejo debido al tipo y diversidad de los contaminantes, además los sistemas convencionales de evaluación se fundamentan en indicadores que no reflejan la calidad del agua con la exactitud requerida (Pérez *et al.*, 2002).

La contaminación del agua procedente de fuentes difusas es el resultado de un amplio grupo de actividades humanas, donde los contaminantes no tienen un punto preciso de ingreso en los cursos de agua que los reciben, es decir, pueden introducirse en cualquier punto del ciclo hidrológico (Nickson *et al.*, 2005). Las aguas superficiales pueden contaminarse durante el proceso de escorrentía desde las cuencas hidrográficas; los arroyos y ríos por el vertido de aguas residuales y las aguas subterráneas por infiltraciones y contaminación subterránea. El arrastre de los contaminantes en el subsuelo termina agregándolos en aguas superficiales, costeras y subterráneas, por lo que son más difíciles de identificar, medir y controlar (Jonge *et al.*, 2002).

El manejo y control de la calidad de las aguas constituyen problemas asociados a la contaminación ambiental, requieren el uso de métodos confiables para dar respuestas rápidas y eficaces a la

evaluación del estado de las aguas y de sus posibles usos, lo que posibilita adoptar medidas para asegurar la calidad (Pérez *et al.*, 1999).

El nivel de contaminación de las aguas residuales, en especial la generada por residuos industriales, no se mide, habitualmente, a través de parámetros globales: Demandas de oxígeno, demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), entre otros (Ongley *et al.*, 1997).

La DQO es uno de los parámetros más efectivos en el control de la calidad del agua; constituye la cantidad de oxidante químico que se necesita para poder oxidar los materiales contenidos en el agua y se expresa en mg de O₂/l. Cuantifica la cantidad de materia orgánica total susceptible de oxidación química (biodegradable y no biodegradable) que hay en una muestra líquida y se utiliza para establecer un nivel de contaminación (Banach *et al.* 2009). Sin embargo, la DQO no se aplica en la provincia de Granma para la determinación de la carga contaminante de las aguas, por tanto es necesario realizar un estudio para su implementación en el territorio.

Materiales y método

Para los análisis de DQO se utilizaron muestras de aguas limpias de tres localidades de la provincia de Granma, Cuba, Potabilizadora de Santa Isabel, Embalse "Paso Malo" y Río Arroyón. De igual manera se tomaron muestras de aguas residuales de origen industrial procedentes de dos Empresas Azucareras "I" y "II" de los municipios Río Cauto y Bayamo, una Empresa Porcina de Manzanillo y un Laboratorio Farmacéutico de Bayamo. La toma y procesamiento de los diferentes tipos de muestras de agua se realizó según las metodologías establecidas en las normas ISO 5667-1 (1980), NC 93-02 (1986), ISO 5667-2 (1991), ISO 5667-3 (1994), ISO 5667-9 (1994), NC 27 (1999), EQS (2002).

De cada punto de muestreo se tomaron tres muestras y se les realizaron diez réplicas según NC 27 (1999) y EQS (2002). Durante la realización de los análisis, las muestras se mantuvieron a una temperatura de 25 °C y humedad relativa del 45 %.

Para el análisis utilizaron los materiales y equipos disponibles en el Laboratorio de Control de la Calidad del Agua perteneciente a la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos de la Unidad Empresarial de Base Granma.

La preparación de las disoluciones para los ensayos

químicos y el desarrollo de la técnica instrumental para la determinación de DQO se ejecutaron según APHA (1997).

Los valores procesados corresponden a las medias de cada uno de los puntos muestreados. Se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus versión 8.0.

Resultados

Aguas limpias

No existen variaciones significativas de los valores de DQO, encontrándose dentro de los límites permisibles (menor de 300 mg/l) para las aguas limpias. La muestra tomada en la potabilizadora de Santa Isabel, el valor de DQO fue 10.4513mg/l. En el Río Arroyón presentó un valor de 21.2606 mg/l. En el embalse “Paso Malo”, el valor de DQO fue de 22.7213mg/l (Tabla 1).

Aguas residuales

El primer objeto de muestreo para aguas residuales fue la Empresa Azucarera “I”. Los resultados arrojaron que los valores medios en la entrada de la laguna de oxidación es de 35.7877 mg/l; en la laguna intermedia de 50.3323 mg/l y en la salida de la laguna de oxidación de 50.1163 mg/l (Tabla 2). Estos valores de DQO se encuentran dentro de los

límites permisibles para el vertimiento de las aguas residuales al cuerpo receptor (≤ 700 mg/l).

Los residuales azucarados de la Empresa Azucarera “II” que se caracterizan por contener levaduras del género *Saccharomyces*, presentaron valores medios en la entrada de la laguna de oxidación de 29147.7333 mg/l y en la salida 77738.1000 mg/l (Tabla 2). Aquí la DQO estuvo por encima del límite máximo permisible promedio.

En los residuales porcinos generados por la Empresa Porcina de Manzanillo que se incluyó en el estudio, los valores medios en la entrada de la laguna de oxidación es de 78300.1333 mg/l (Tabla 2), mayores que el límite máximo permisible promedio para el vertimiento de las aguas residuales.

En la compañía farmacéutica, los valores medios de DQO a la salida del proceso fabril es de 2158.9333 mg/l y a la salida de la laguna de oxidación mostró valores de 40.6823 mg/l, encontrándose dentro de los rangos permisibles para el vertimiento de los residuales.

Discusión

APHA (1997) utiliza una disolución de dicromato de potasio cuya concentración molar en equivalentes es 0.5 mol/l en ácido sulfúrico al 50 %.

Tabla 1. Valores de Demanda Química de Oxígeno en aguas limpias

Lugar de muestreo	media $\{\bar{x}\}$	varianza	S	CV%
Potabilizadora Santa Isabel (potable)	10.4513	0.0023	0.0466	0.4418
Presa Paso Malo (riego)	22.7213	0.0057	0.0696	0.3156
Río Arroyón (riego)	21.2606	0.0033	0.0546	0.2539

$\{\bar{x}\}$: Media; S: Desviación estándar; CV%: Coeficiente de variación.

Tabla 2. Valores de Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales.

Lugar de muestreo		Media $\{\bar{x}\}$	Varianza	S	CV%
Emp. Azucarera “I”	E.L.O.	35.7877	0.0253	0.1424	0.3929
	L.O.Interm.	50.3323	0.0261	0.1458	0.2919
	S.L.O.	50.1163	0.0438	0.1845	0.3696
Emp. Azucarera “II”	E. L. O.	29147.7333	28.4815	4.6366	0.0159
	S. L. O.	77738.1000	7.3074	2.6665	0.0034
Emp. Porcina Manzanillo	L.O	78300.1333	4.1444	1.9431	0.0025
Industria Farmacéutica	S. Planta	2158.9333	3.4555	2.0544	0.0955
	S. Residual	40.6823	0.1138	0.3332	0.8155

E.L.O.: Entrada de la laguna de oxidación; S.L.O.: Salida de la laguna de oxidación; L.O.Interm.: Laguna de oxidación intermedia; LO: Laguna de Oxidación.

Bajo estas condiciones, con sulfato de plata como catalizador, la mayoría de los compuestos son oxidados entre un 90 y 100 %. Este proceder, entonces, resulta adecuado para la determinación de la materia orgánica oxidable en las aguas, tanto limpias como residuales.

Las determinaciones de DQO en aguas limpias, mediante este método, muestran que los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite máximo permisible promedio según NC 93-11 (1986) y NC 27 (1999). Los valores correspondientes al %CV para cada muestra son bajos, siendo inferiores a 3 % como valor crítico establecido para los métodos espectrofotométricos (Noguez *et al.*, 2009).

Los valores de DQO de las muestras tomadas en el Río Arroyón y el Embalse “Paso Malo” no tienen semejanzas significativas. Sin embargo, las determinaciones en las muestras tomadas de la potabilizadora Santa Isabel son menores que en los puntos antes mencionados, con una diferencia de más de 10 mg/l, por lo tanto, las aguas del Embalse “Paso Malo” y del Río Arroyón tienen más contaminación por materia orgánica oxidable que la potabilizadora de Santa Isabel; pudiendo estar condicionada por la actividad humana sobre estos cuerpos receptores, además de la carga contaminante que adquiere de forma natural. La contaminación del agua, entonces, sería, la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos (Nahlik *et al.* 2006). Llama la atención que los valores obtenidos se encuentran por encima del límite máximo permisible promedio para el agua destinada al consumo humano (≤ 7 mg/l), según las normas ISO 5667-9 (1994), NC 27 (1999) y EQS (2002).

Teniendo en cuenta la NC 27 (1999) estas aguas se clasifican como clase A: Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. En esta norma se especifica que las descargas de aguas residuales no podrán producir una disminución del oxígeno disuelto en los cuerpos receptores superficiales a valores menores de 4 mg/l.

Por otro lado, los valores correspondientes al %CV para cada muestra de aguas residuales son bajos (Tabla 2), siendo inferiores a 3% como valor crítico

establecido para los métodos espectrofotométricos según Noguez *et al.* (2009).

Se observa que la DQO en las aguas residuales de la Empresa Azucarera “I” es menor en la entrada de la laguna de oxidación que en la laguna intermedia y en la salida; este hecho puede estar asociado a la saturación acumulada por los años de explotación, lo cual es visible a través de la gruesa capa de lodo que habitualmente se deposita en esta clase de objetos bajo la condición mencionada, o que entre los residuales generados por la industria se encuentren moléculas orgánicas complejas de difícil degradación. En este caso la DQO es inferior al límite máximo permisible promedio (≤ 700 mg/l) para la descarga a su cuerpo receptor y teniendo en cuenta la NC 27 (1999) el cuerpo receptor de estos residuales se clasificaría como C: Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso, tales como, aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros, siempre que se cumpla con el principio de que las descargas de aguas residuales no podrán producir una disminución del oxígeno disuelto en el cuerpo receptor superficial de 2 mg/l. Los residuales azucarados con levaduras del género *Saccharomyces*, procedentes de la Empresa Azucarera “II”, presentan valores mayores al límite máximo permisible promedio para el vertimiento de estas aguas residuales según lo normado en Cuba (NC 27, 1999). Los valores determinados de DQO en las muestras tomadas a la entrada de la laguna de oxidación son menores que los de la salida de la misma, mostrando que no realiza su función debido a que se encuentra saturada con los desechos de la industria y está aportando una carga contaminante mayor al cuerpo receptor de estos residuales que los que está produciendo la propia instalación. Los residuales con *Saccharomyces*, producto de la fermentación de las mieles, aumentan los valores de la DQO al compararlos con los residuales azucarados que produce la Empresa Azucarera “I” y son mayores que los reportados por Obaya *et al.* (2004) en un estudio realizado en las aguas residuales de la Empresa Mielera “Heriberto Duquense” en Remedios, Villa Clara, Cuba.

De acuerdo con la clasificación empleada para el vertimiento de los residuales al cuerpo receptor (NC 27, 1999), los residuales generados por la Empresa

Azucarera "II" son calificados como C.

La DQO de los residuales generados por la Empresa Porcina de Manzanillo es la más alta comparada con las correspondientes a los otros cuatro puntos muestreados para las aguas residuales. En primera instancia, estos resultados coinciden con los reportes de García (2003) y ratifican que, efectivamente, los vertimientos de la industria cárnica generan múltiples problemas de contaminación del medio, debido a que presentan altos contenidos de materia orgánica, compuestos grasos, sólidos en suspensión y nutrientes (nitrógeno y fósforo). En segundo lugar, los valores de DQO excesivamente superiores a los establecidos en NC 27 (1999), -superando 100 veces el límite máximo permisible promedio (700 mg/l), incluso para otras normas también (EQS, 2002), y 10 veces el límite superior del estudio realizado por García (2003) en un matadero porcino español, son una consecuencia directa de la inexistencia de tratamiento previo de estos residuales antes de ser vertidos a las redes hidrográficas de la provincia de Granma, convirtiéndose en un serio problema de contaminación medioambiental a nivel local. A los efectos de la norma NC 27 (1999), el cuerpo receptor para estos residuales se clasifica como C.

En el caso de la Industria Farmacéutica, los valores de DQO a la salida del proceso fabril fueron elevados, pues las determinaciones fueron realizadas en residuales sin tratamiento alguno. No obstante, fueron menores que los residuales producidos por las Empresas Azucareras incluidas en este estudio y la Empresa Porcina de Manzanillo. En la salida de la laguna de oxidación, los valores de DQO fueron mucho menores que los generados a la salida del proceso fabril, demostrando que la laguna de oxidación cumple su objetivo al degradar la mayor cantidad de materia orgánica oxidable posible. Es importante señalar que esta laguna de oxidación recibe una gran cantidad de residuales de medicamentos que incrementan los valores de DQO. El cuerpo receptor para estos residuales es de tipo C y los valores se encuentran por debajo del límite máximo permisible promedio (NC 27, 1999; EQS, 2002). La Industria Farmacéutica es la única entidad de las muestreadas que cumple con las medidas de protección del medio ambiente y con lo especificado en las normas citadas.

El análisis estadístico realizado a las muestras de aguas limpias se determinó que el p-valor del test F

es inferior a 0.05 mostrando la existencia de diferencia estadísticamente significativa entre las medias estudiadas con un nivel de confianza del 95.0%.

El valor de para aguas limpias fue: $F=368.954$ para $p=0.000$

La estadística para las muestras de aguas residuales el p-valor del test F es inferior a 0.05 mostrando que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias estudiadas con un 95% de confianza.

El valor de para aguas residuales fue: $F=2.78994$ para un $p=0.018$.

Conclusiones

En los lugares muestreados para el agua limpia el parámetro DQO se encontró dentro del límite máximo permisible promedio para el riego y por encima para la destinada al consumo humano. Se determinó que en tres de los cuatro lugares muestreados las lagunas de oxidación aportan un alto nivel de contaminación a los cuerpos receptores. La DQO en las aguas residuales en la Empresa Azucarera "II" y la Empresa Porcina de Manzanillo se encuentra por encima del límite máximo permisible promedio que está normado.

Bibliografía

- APHA, A. WWA,WPCF. 1997.Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. APHA. Washington. 1425-1435pp.
- Banach, Esteve, G., Cordón, Casero, S., Torrents y Gimeno, A. 2009. Estudio de la calidad ambiental de la Bahía de Cárdenas para un futuro Manejo Integrado de Zonas Costeras. Universitat de Girona, Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas. Gestverd Serveis Ambientals. (<http://www.gestverd.com>)
- Campos Medina E, Gómez Hinojos A M. 2009.Tratamiento de aguas residuales mediante irrigación gamma. Quivera. 1:12-21 pp.
- EQS. 2002. Environmental Quality Standards for Water Pollution. Japan. Ministry of the Environment. (<http://www.env.go.jp/en/lar/regulation/wp.html>)
- García Expósito, I. 2003. Departamento Técnico de Nilo Medio Ambiente, S.L., IBÉRICA: actualidad tecnológica. 469: 572-575pp.
- Jonge, V.C., Elliott M, Orive E. 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. Hydrobiologia 475:1-19pp.
- Nahlik A, Mitsch W. 2006. Tropical treatment wetlands dominate by free-floating macrophytes for water quality improvement in Costa Rica. Ecological Engineering. 28:146-247pp
- Noguez, M., Norma, A., Rubio, M., Alejandro, Rojas, O., Irma, Chávez, C. y Ángel, E. 2009. Determinación del coeficiente

- de partición y del pKa de la 4,4'-diaminodifenilsulfona a partir de datos de solubilidad, *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 40: 12-18pp.
- Nickson, R.T., McArthur, J.M., Shrestha, B., Myint, T.O. y Lowry, D. 2005. Arsenic and other drinking water quality issues, Muzaffargarh District, Pakistan. *Applied Geochemistry*, 20: 55-68p.
- Norma ISO 5667-1. 1980. Muestreo de aguas. (<http://www.nonline.cubaindustria.cu>)
- Norma ISO 5667-3. 1994. Calidad de agua. Muestreo. Guía para la preservación y manipulación de muestra. (<http://www.nonline.cubaindustria.cu>)
- NC 27. 1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. (<http://biblioteca.idict.villaclara.cu/UserFiles/File/Normateca/NC-27-99%20Vertimiento.pdf>)
- Norma ISO 5667-9. 1994. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas marinas. (<http://www.nonline.cubaindustria.cu>)
- Norma Cubana 93-02. 1986. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo. (<http://www.nonline.cubaindustria.cu>)
- Norma ISO 5667-2. 1991. Técnicas de muestreo. (<http://www.nonline.cubaindustria.cu>)
- Norma Cubana 93-11. 1986. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria. (<http://www.nonline.cubaindustria.cu>)
- Obaya Abreu, C. et al. 2004. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Tecnología del agua. 249:78-85pp.
- Ongley, ED. 1997 Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. *FAO. Center for Island Waters*. Burlington, Canadá. 55-68pp.
- Pérez, NB, Creach, L, Marañón, A., Fernández, A., Guerra, H. y Díaz, I. 1999. Evaluación de la calidad de las aguas del río *Los Guaos* de la provincia de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 11: 25-35pp.
- Pérez, N., Marañón, A., López, C., Pérez, Y., González, A., Cascaret, D., Pelegrin, F. y Guerra, I. 2002. Contaminación de las aguas del río Cobre en la zona de la mina grande de El Cobre. *Revista Cubana de Química*, 14: 24-34pp.
- Quintana Valdés, E.O. y Álvarez Amargos, P.M. 2005. Análisis del índice de repetibilidad (IR) de la sequía en el período 1981-2000 en la provincia Granma. *Tecnología Química*, 9: 25-36pp.