

# Método numérico para determinar la «confiabilidad» de los resultados de análisis orgánicos de desechos líquidos

José T. Romero D\*

## Resumen

Este trabajo expone un método numérico para determinar la «Confiabilidad» (C) de los resultados de análisis de aguas residuales respecto a la demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_T$ ), demanda química de oxígeno ( $\text{DQO}_T$ ), sólidos volátiles totales ( $\text{SVT}_T$ ), nitrógeno orgánico total (NT) y grasas y aceites vegetales y animales (G y A). Se acudió a estructuras y fórmulas moleculares genéricas de los contaminantes orgánicos del agua (carbohidratos, lípidos y proteínas), y a relaciones numéricas sencillas entre los parámetros mencionados, suponiendo que la  $\text{DBO}_T$  carbonácea en 4 días sólo se ejerce para carbohidratos y proteínas. El método establece que los valores de ( $\text{DQO}_T/\text{SVT}_T$ ) deben caer en el rango 1-3 y que el valor C para la  $\text{DBO}_T$  es indicativo de la magnitud del trabajo de los microorganismos en el ejercicio de la  $\text{DBO}$  carbonácea para carbohidratos y proteínas en determinado desecho, lo cual permite fijar premisas fundamentales para el diseño del sistema de tratamiento biológico de tal desecho.

## Abstract

**Numerical method to determine the «Confiability» (C) of wastewater analysis results.** This study refers a numerical method to determine the «Confiability» (C) of wastewater analysis results concerning biochemical oxygen demand ( $\text{BOD}_T$ ), chemical oxygen demand ( $\text{COD}_T$ ), total volatile solids ( $\text{TVS}_T$ ), total organic nitrogen (NT) and organic grease and oil (GO). It is supported on molecular structures and formula of water's organic pollutants (carbohydrates, lipids and proteins) and simple numerical relationships between above parameters. In supposing that in 4 days only carbohydrates and proteins carbonaceous BOD is exerted, this method establishes that  $\text{COD}_T/\text{TVS}_T$  relationship may be in the range 1-3 and that  $\text{BOD}_T$ 's C value indicates the magnitude of bacteria's BOD exercise for carbohydrates and proteins contained in a given wastewater. Such statements give fundamental principles for the design of the purification treatment to be applied.

## Introducción

La instalación de nuevos centros industriales, así como la ampliación de los ya existentes, que impone la situación económica y de desarrollo de Venezuela, a aumentar la producción de desechos sólidos, líquidos y gaseosos.

El tratamiento de estos desechos implica inversiones importantes del sector industrial tanto privado como oficial, por lo que se amerita que los sistemas a diseñar para tal fin deben basarse en informaciones confiables acerca de las características del desecho.

Los desechos líquidos con contaminación orgánica son los que mayor atención han recibido en virtud de su volumen, del efecto sobre los receptores acuíferos y de la posibilidad de reusar el agua una vez tratada.

Al respecto, existe gran variedad de sistemas de tratamiento cuyas eficiencias dependen de la veracidad de los datos sobre las demandas químicas y bioquímicas de oxígeno, sólidos volátiles biodegradables, grasas y aceites, nitrógeno orgánico, etc. que caracterizan el material orgánico contaminante del desecho líquido, pues en ellos se apoya el ingeniero diseñador para dimensionar las unidades que los conforman y recomendar los métodos operativos.

Se hace, pues, necesario disponer de un procedimiento que permita medir el grado de confiabilidad de los resultados del análisis del desecho en los parámetros involucrados.

El que aquí se presenta es un método sencillo que mide la exactitud de cualquier parámetro apoyándose en su relación con los otros; si se trata de la demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}$ ) esta exactitud cobra mayor importancia, ya que, completada con otra infor-

\* Profesor Asociado. Escuela de Agronomía. UCLA.

mación recabada a nivel de laboratorio (número de días que tomaron las bacterias para ejercer su máxima DBO carbonácea en incubaciones con o sin nutrientes, y el valor de la constante de la reacción K, por ejemplo) indica el comportamiento de los microorganismos ante el desecho (si son afectados por sustancias inhibitoras y/o tóxicas presentes en él, o si carece de cantidades adecuadas de nutrientes) y, por consiguiente, la conveniencia y las variaciones en el sistema biológico a aplicar.

El método se basa en las estructuras y fórmulas moleculares patrones de las familias de sólidos volátiles (a temperaturas menores a 600° C) contenidos en un agua de desecho con contaminación orgánica, fundamentalmente, polisacáridos, lípidos y proteínas, y la relación que existe entre los diferentes parámetros que normalmente se utilizan para caracterizar un agua de desecho; estos son, la DBO, la demanda química de oxígeno (DQO), las grasas y aceites animales y vegetales (GA), los sólidos volátiles totales (SVT), el nitrógeno orgánico total (NT) y, si es necesario, el carbono orgánico total (COT).

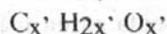
#### Marco teórico

El método se fundamenta en la formulación empírica de las familias de compuestos orgánicos mencionados.

**a) Carbohidratos.** De manera general, se tratará en este estudio de polisacáridos definidos como compuestos de estructura molecular (Metcalf, 1977).



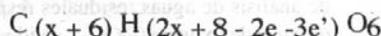
que al ser hidrolizados forman monosacáridos de fórmula molecular



quedando su peso molecular (PM).

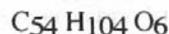
$$\text{PM} = 30 x' \text{ g/mol (=SVT)}$$

**b) Lípidos.** Los lípidos contenidos en un agua residual con contaminación orgánica están representados por las grasas o aceites comestibles. La grasa (triglicérido) es de la fórmula molecular general.



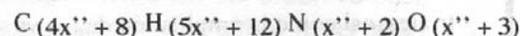
donde e y e' son los dobles y triples enlaces, respectivamente.

Se ha comprobado que las grasas más abundantes son las que contienen cadenas de carbonos saturados, con 10, 12, 14, 16, 18 y 20 carbonos. Para efectos de cálculos se toma 16 como número promedio de carbonos, todos saturados; su fórmula molecular representativa queda, entonces:



su peso molecular (PM) es  $\text{PM} = 848 \text{ g/mol}$  (GA).

**c) Proteínas.** Se toma una molécula representativa tomando como base la relación entre el peso molecular de las proteínas y la cantidad de nitrógeno contenido en ella, cuyo promedio es 6,25 (Romero, 1991). Su fórmula molecular es:



Su peso molecular (PM), queda

$$\text{PM}' = 83X'' + 184 (=SVT)$$

Obsérvese que en un mol de proteína el nitrógeno total (NT), es

$$\text{NT} = 14(X'' + 2), \text{ y que}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \text{PM}'/\text{NT} = 5,9 \text{ (proteínas superiores)}$$

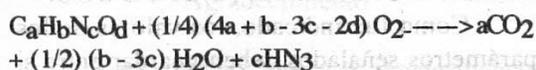
$$\lim_{x \rightarrow 0} \text{PM}'/\text{NT} = 6,6 \text{ (aminoácidos)}$$

$$x \rightarrow 0$$

lo que en promedio resulta 6,25 (para  $X'' = -1$ ,

la fórmula molecular se asemeja a las encontradas para las bacterias (McKinney, 1962; Rivas, 1978), y para  $X'' = -2$ , se llega a la molécula del agua).

La reacción de bio-degradación correspondiente a la fase carbonácea que desarrollan las bacterias aerobias sobre un sustrato orgánico de fórmula molecular general  $C_aH_bN_cO_d$  se puede representar así:



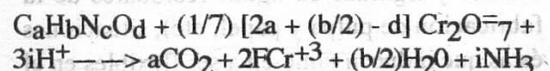
Para los carbohidratos y proteínas, sus DBO molares teóricos quedarían así:

$$DBO(\text{carbohidratos}) = 32X' \quad (1)$$

$$DBO(\text{Proteínas}) = 128(X'' + 2) \quad (2)$$

No se incluye la DBO correspondiente a lípidos debido a la preferencia que tienen las bacterias aerobias para biodegradar azúcares y proteínas, en virtud de la insolubilidad en el agua de las grasas (lo que amerita una reacción externa de hidrólisis inicial) y a su estado de oxidación (McKinney, 1962).

El oxígeno teórico consumido correspondiente a la DQO (realizada mediante digestión ácida con dicromato) de un compuesto orgánico de fórmula como la señalada, es:



donde  $F = (1/7)[2a + (b/2) - d]$ , lo que indica que el oxígeno molecular consumido en esta reacción es  $7F$ . Luego, las DQO molares de las familias de compuestos, quedan.

$$DQO(\text{Lípidos}) = 2464 \text{ g Oxig/mol} \quad (3)$$

$$DQO(\text{Carbohidratos}) = 32 X' \text{ g Oxig/mol} \quad (4)$$

$$DQO(\text{Proteínas}) = 152(X'' + 2) \text{ g Oxig/mol} \quad (5)$$

Se puede establecer, entonces, las relaciones siguientes:

$$DQO/SVT(\text{Carbohidratos}) = 1,1; DQO/SVT(\text{Proteínas}) = 2,61; DQO/SVT(\text{Lípidos}) = 2,9$$

Estos valores indican desde ya que la relación DQO/SVT para un desecho debe caer, aproximadamente, en el rango 1 - 3, dependiendo del compuesto que predomine en él. Fuera de este rango, se recomienda repetir los análisis; si persiste la situación, realizar inspecciones en el sitio de producción del desecho a fin de detectar el origen de la anomalía.

#### Determinación de la «Confiability» (C, en %).

Una vez obtenidos los resultados del análisis (DBOr, DQOr, SVTr, NT, GA, y/o COT), a partir de tres de estos parámetros, se calcula el valor teórico de uno de los otros dos y se compara con el valor real obtenido (simbolizado con el subíndice r) para obtener un error (E). El valor de C resulta de restar E de 100, es decir:

$$C = \{1 - [(Pt - Pr) / Pt] * 100\} \quad (6)$$

donde:

Pt = Valor teórico del parámetro bajo estudio.

Pr = Valor real del parámetro bajo estudio.

Seguidamente se ilustra el procedimiento matemático para el cálculo del Pt que se quiera estudiar. Se recomienda utilizar la DBO en virtud de que con su C y con las mediciones diarias de su ejercicio se puede inferir acerca del comportamiento de los microorganismos ante el desecho. Es de señalar que en incubaciones a nivel de laboratorio, bajo óptimas condiciones de trabajo, las bacterias aerobias demoran un máximo de 4 días para ejercer la etapa carbonácea, la cual se manifiesta en el primer punto máximo de inflexión de la curva del ejercicio diario de la DBO (Romero,

1991). Se ha encontrado que en este lapso de tiempo dichas bacterias ejercen alrededor del 50% del total de la DBO carbonácea de polisacáridos y proteínas para producir energía necesaria para sus otras funciones; el resto del material orgánico lo utilizan para su síntesis celular (Sawyer, 1967). Un tiempo mayor o una DBO carbonácea menor son indicativos de alguna dificultad para realizar su trabajo.

Supóngase, pues, que se tiene datos de  $DBO_T$ ,  $DQO_T$ ,  $SVT_T$ ,  $NT$  y  $GA$ . Como sus unidades son mg/l, se toma 1 litro como base de cálculo. Debido a que la  $C$  se va a calcular respecto a la  $DBO_T$  (carbonácea máxima), a los valores de  $DQO_T$  y  $SVT_T$  se les resta los correspondientes a  $GA$  (no biodegradables en el tiempo de incubación) para obtener los que se refieren a los biodegradados (carbohidratos y proteínas)  $DQO(b)$  y  $SVT(b)$ . Así:

$$DQO(b) = DQO_T - DQO(GA) \quad (7)$$

$$SVT(b) = SVT_T - GA \quad (8)$$

Luego:

$$DQO(\text{Carbohidratos}) + DQO(\text{Proteínas}) = DQO(b)$$

$$SVT(\text{Carbohidratos}) + SVT(\text{Proteínas}) = SVT(b)$$

Se puede llegar así a las tres ecuaciones siguientes:

$$32n'x' + 152n''(x'' + 2) = DQO(b) \quad (9)$$

$$30n'x' + n''(83x'' + 184) = SVT(b) \quad (10)$$

$$14n''(x'' + 2) = NT \quad (11)$$

donde  $n'$  y  $n''$  son, respectivamente, los milimoles de carbohidratos y proteínas por litro de muestra. Las tres incógnitas serían  $n'x'$ ,  $n''$  y  $x''$ , que se consiguen al resolver el sistema de ecuaciones. Con los valores de  $n''$  y  $x''$  se puede inferir acerca del tipo de compuesto nitrogenado presente en la muestra (de molécula corta o larga, aminoácido o microorganismos).

Para calcular  $DBO_t$  (carbonácea máxima) se utiliza la ecuación:

$$0,5 [32n'x' + 128n''(x'' + 2)] = DBO_t \quad (12)$$

y su  $C$  por la ecuación (6).

### Conclusiones

El parámetro al que más conviene determinar la Confiabilidad ( $C$ ) es a la  $DBO$ .

Como fue indicado, los valores de los parámetros señalados deben guardar entre sí una relación numérica.

Por otra parte, como el valor de  $C$  queda afectado también por los errores que se cometen en el proceso de caracterización del desecho, la decisión sobre el que se va a considerar como mínimo aceptable depende de las condiciones de muestreo y conservación y análisis de las muestras, así como la habilidad del técnico que los realiza (por ejemplo, a medida que las condiciones son más adversas, se debe ser más flexible en el mínimo de valor de  $C$  a aceptar). Además, juega papel importante el origen del desecho líquido. Por ejemplo, los  $SVT$  en aguas residuales de centrales azucareros vienen afectados por sólidos no orgánicos como cenizas, grasas y aceites minerales (de motores); por su parte, los valores de  $DQO$  son afectados por la presencia de sustancias fenólicas (detergentes en desechos líquidos domésticos, taninos y ligninas en aguas residuales de la fabricación de pulpa y papel, etc), situaciones éstas que inducen también a ser flexibles en el mínimo valor de  $C$  a aceptar. Sin embargo, si el valor de la  $C$  de la  $DBO$  es menor que el mínimo aceptable, es indicativo de que los microorganismos tuvieron dificultad para el ejercicio de la  $DBO_T$ .

Si se trata de un tratamiento biológico el valor de la  $C$  para la  $DBO_T$  (o el de la relación  $DQO_T/SVT_T$ , si es el caso) puede inducir a un pretratamiento, o fijar las condiciones de operación y/o su sobre diseño; estas alternativas dependen de cuán se aleje del porcentaje del mínimo fijado como aceptable el valor de la  $C$  de la  $DBO_T$ , o del rango 1-3 el de la relación

DQO<sub>T</sub>/SVT<sub>T</sub>, y las razones de estas desviaciones.

Cuando el valor de C de cualquier parámetro es mayor que 100% es indicativo de un error en la determinación de uno de ellos. En el caso particular de la DBO, un valor mayor de 100% de su C indica un error por exceso en la DBO y/o DQO, o por defecto en los SVT y/o GA.

#### Agradecimiento

El autor desea expresar su agradecimiento a la Escuela de Agronomía y al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la UCLA, por el apoyo financiero para la realización de este trabajo.

#### Literatura citada

1. McKinney, R.E. 1962. Microbiology for Sanitary Engineers. McGraw-Hill, New York. pp 166-177.
2. Metcalf, E. 1977. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Labor, S.A., Barcelona. pp 237-284.
3. Rivas Mijares, G. 1978. Tratamiento de aguas residuales. Vega, Caracas. pp 50-90; 305-379.
4. Romero, J. 1991. Precauciones en la selección de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) a utilizar en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Act. Cient. Ven. Venezuela*.
5. Sawyer, C.N y P.L. McCarty. 1967. Fundamentals of chemical for engineers. Part One. McGraw-Hill. USA. pp 86-156; 394-403.



UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL LISANDRO ALVARADO  
**BIBLIOTECA**  
 POSGRADO DE AGRONOMIA  
 FITOPATOLOGIA - HORTICULTURA