

CAPACIDAD DE ASIMILACION

Cuando los contaminantes se vierten en el agua, se produce una sucesión de cambios en la calidad de la misma. Si el agua se aleja a un ritmo uniforme de la descarga, como en una corriente, los cambios sucesivos se propagan a diferentes distancias en el río y establecen un perfil de contaminación y purificación natural bien definido, que se puede formular matemáticamente. Sin embargo, no existe un patrón fijo en la mayor parte de las corrientes, sino que cambia longitudinalmente hacia arriba y abajo de la corriente acuática y se modifica en intensidad con los cambios de estación e hidrografía.

La purificación natural de las aguas contaminadas nunca es rápida, y las corrientes fuertemente contaminadas pueden cruzar grandes distancias durante muchos días de flujo, antes de que se alcance un grado considerable de purificación.

El grado de contaminación y de purificación natural se puede medir física, química y biológicamente. Dependiendo de la naturaleza de las sustancias contaminantes y de los usos que la masa receptora de agua vaya satisfacer, se pueden hacer mediciones de turbidez, color, olor, nitrógeno, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), materia orgánica, oxígeno disuelto (OD) y otros gases. La DBO identifica de una manera completa la carga degradable agregada al agua receptora o que permanece en ella en cualquier tiempo dado y el OD la capacidad de la masa de agua para asimilar la carga impuesta por sí misma o con ayuda de la reaeración mediante el oxígeno absorbido principalmente desde la atmósfera.

En la naturaleza, las aguas limpias se encuentran saturadas, o casi saturadas con oxígeno disuelto, por consiguiente, las materias de desecho que se descargan en las aguas naturales generalmente experimentan una descomposición aeróbica. Solo cuando el suministro de oxígeno disuelto o que se toma en solución no puede mantener proporción con la DBO de la carga de desechos, convierte el agua en anaeróbica y con ella el tipo de descomposición. Por lo que la determinación del oxígeno disuelto en el agua (OD) en relación con su valor de saturación y de la cantidad y velocidad de la utilización del oxígeno (DBO), proporciona un medio rápido y útil para identificar el grado de contaminación del agua e indirectamente, la cantidad de materia orgánica sujeta a descomposición contenida en ésta en un tiempo determinado.

Al descargar materia orgánica la corriente se desoxigena y se va obteniendo un déficit en el contenido de oxígeno, aguas abajo la corriente se empieza a recuperar debido a la transferencia de oxígeno con la atmósfera hacia el cuerpo de agua; el déficit de oxígeno (mg/l) es igual a la concentración de saturación C_s (mg/l) menos la concentración actual C (mg/l):

$$D = C_s - C \quad (1)$$

donde C_s es función de la temperatura.

La figura 4 muestra una curva que es el resultado del efecto combinado de la desoxigenación y de la reaeración. La curva de desoxigenación es la curva de la DBO (estabilización de la materia orgánica), la cual empieza en un máximo y va disminuyendo hasta llegar a casi cero. La reaeración empieza con velocidad cero,

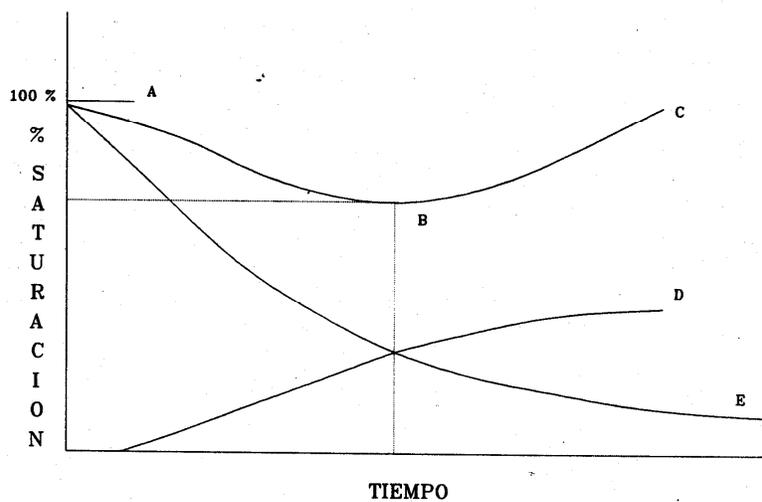


FIGURA 4.- VARIACION DE OXIGENO DISUELTO CON EL TIEMPO
 A) 100% DE SATURACION DE OD
 B) PUNTO CRITICO
 C) EFECTO COMBINADO DE DESOXIGENACION
 Y REAEREACION
 D) AUMENTO EN OD POR REAEREACION
 E) DISMINUCION DE OD POR ESTABILIZACION
 DE MATERIA ORGANICA

se considera que al principio la corriente está saturada con oxígeno (el contenido de materia orgánica es cero); la velocidad de la reaeración es siempre proporcional al déficit, la velocidad se incrementa con un aumento del déficit.

Conforme la desoxigenación y reaeración se están llevando a cabo, se tiene un punto mínimo en la concentración de oxígeno disuelto, después del cual la reaeración es el factor dominante y el déficit empieza a decrecer.

Debido a la carga de materia orgánica el cambio del déficit con respecto al tiempo será proporcional a la concentración de materia orgánica, su comportamiento es el de una reacción de primer orden:

$$\frac{dD}{dt} = K_D L \quad (2)$$

donde:

K_D - Constante de desoxigenación.

D - Déficit de oxígeno disuelto.

L - Concentración de materia orgánica.

t - Tiempo.

De la misma forma, la biodegradación de la materia orgánica es proporcional a la concentración de materia orgánica presente:

$$\frac{dL}{dt} = -K_D L \quad (3)$$

Como al degradar la materia orgánica se va obteniendo un déficit de oxígeno, se tiene un gradiente para la transferencia de oxígeno atmosférico hacia el agua:

$$\frac{dC}{dt} = -K_2 (C_s - C) \quad (4)$$

donde: K_2 constante de reaereación es función de la temperatura, profundidad y velocidad de la corriente.

De la ecuación anterior se observa que al aumentar la concentración del oxígeno disuelto, el déficit va disminuyendo; expresándola en términos del déficit se tiene:

$$\frac{dD}{dt} = -K_2 D \quad (5)$$

El cambio del déficit con respecto al tiempo está influenciado por la desoxigenación y por la reaereación; por lo que el cambio del déficit será:

$$\frac{dD}{dt} = K_p L - K_2 D \quad (6)$$

A esta relación se le conoce con el nombre de Streeter and Phelps y es uno de los modelos más ampliamente utilizados en estudios de calidad del agua en corrientes, con algunas modificaciones que complementan el comportamiento real del desecho en el agua.

Para resolver esta ecuación diferencial se debe conocer la variación de L con respecto al tiempo; al resolver la ecuación (2) por separación de variables con las siguientes condiciones límites:

$$t = 0, \quad L = L_0 \quad \text{y} \quad t = t, \quad L = L$$

se obtiene:

$$L = L_0 e^{-K_2 t} \quad (7)$$

sustituyendo la ecuación (7) en ecuación (6):

$$\frac{dD}{dt} = K_D L_0 e^{-K_2 t} - K_2 D \quad (8)$$

esta ecuación es diferencial lineal de primer orden, y al resolverse para

$$t = 0, \quad D = D_0 \quad \text{y} \quad t = t, \quad D = D$$

se obtiene la ecuación para el déficit de oxígeno, la cual nos proporciona el déficit y la concentración de oxígeno disuelto en cualquier parte de la corriente.

$$D = D_0 e^{-K_2 t} + \frac{K_D L_0}{K_2 - K_R} [e^{-K_R t} - e^{-K_2 t}] \quad (9)$$

donde:

- D - Déficit de oxígeno disuelto en tiempo t (mg/l).
- D_0 - Déficit de oxígeno disuelto (OD) inicial (mg/l).
- L_0 - Demanda Bioquímica de Oxígeno última al inicio (mg/l).
- K_2 - Tasa de reaeración (días⁻¹).
- K_D - Tasa de desoxigenación (días⁻¹).
- K_R - Tasa de remoción de DBO (días⁻¹).
- t - Tiempo (días).
- L - Demanda Bioquímica de Oxígeno en tiempo t (mg/l).

se obtiene:

$$L = L_0 e^{-K_D t} \quad (7)$$

sustituyendo la ecuación (7) en ecuación (6):

$$\frac{dD}{dt} = K_D L_0 e^{-K_D t} - K_2 D \quad (8)$$

esta ecuación es diferencial lineal de primer orden, y al resolverse para

$$t = 0, \quad D = D_0 \quad \text{y} \quad t = t, \quad D = D$$

se obtiene la ecuación para el déficit de oxígeno, la cual nos proporciona el déficit y la concentración de oxígeno disuelto en cualquier parte de la corriente.

$$D = D_0 e^{-K_2 t} + \frac{K_D L_0}{K_2 - K_D} [e^{-K_D t} - e^{-K_2 t}] \quad (9)$$

donde:

- D - Déficit de oxígeno disuelto en tiempo t (mg/l).
- D_0 - Déficit de oxígeno disuelto (OD) inicial (mg/l).
- L_0 - Demanda Bioquímica de Oxígeno última al inicio (mg/l).
- K_2 - Tasa de reaeración (días⁻¹).
- K_D - Tasa de desoxigenación (días⁻¹).
- K_R - Tasa de remoción de DBO (días⁻¹).
- t - Tiempo (días).
- L - Demanda Bioquímica de Oxígeno en tiempo t (mg/l).

Al graficar la ecuación del déficit de oxígeno (Fig. 5) se observa un déficit máximo al que se denomina Déficit Crítico. En ese punto la velocidad de desoxigenación es igual a la de reaeración y el cambio del déficit con respecto al tiempo es cero.

$$\frac{dD}{dt} = K_D L_o e^{-K_D t} - K_2 D_c = 0 \quad (10)$$

Despejando el D_c :

$$D_c = \frac{K_D}{K_2} L_o e^{-K_D t} \quad (11)$$

Sustituyendo la ecuación anterior en la ecuación de Sag, y despejando t_c , se obtiene la ecuación para calcular el tiempo crítico, donde $f = K_2 / K_D$:

$$t_c = \frac{1}{K_D (f - 1)} \text{Ln} \left\{ f \left[1 - (f - 1) \frac{D_o}{L_o} \right] \right\} \quad (12)$$

El déficit y el tiempo crítico son de gran importancia en el saneamiento de corrientes, con ellos podemos conocer la cantidad de materia orgánica que debe descargarse en el Río para mantener la concentración de oxígeno disuelto deseada.

Para la aplicación del modelo, fue necesario conocer los parámetros que lo componen y las características de la corriente⁽¹¹⁾, datos obtenidos de las Tablas de Calidad del Agua (apéndice B) y de las Estaciones Hidrométricas. Para facilitar la realización de los cálculos se dividió la corriente en tramos (Fig. 6)

La velocidad promedio de la corriente se consideró como 0.635 m/s (54,864 m/día). Según los lineamientos para la Clasificación de Corrientes de los datos de

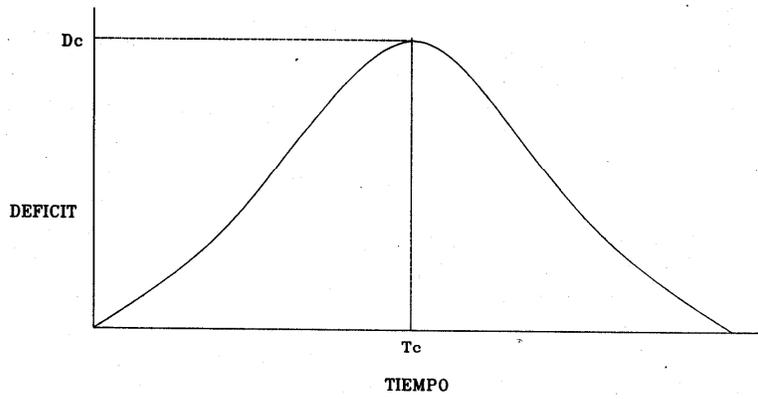
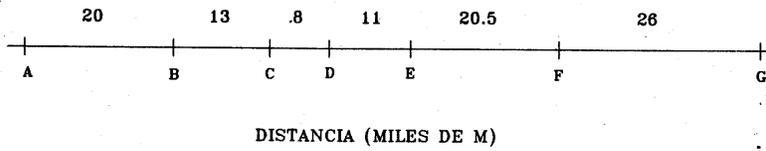


FIGURA 5.- VARIACION DEL DEFICIT CON EL TIEMPO.



| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| A : MAZOCAHUI | E : EL GAVILAN |
| B : PUERTA DEL SOL | F : EL OREGANO |
| C : URES | G : PRESA ABELARDO L. RODRIGUEZ |
| D : GUADALUPE DE URES | |

FIGURA 6.- ESTACIONES DE MUESTREO Y
DISTANCIA ENTRE ELLAS

Laboratorio se determinaron los percentil 75 para DBO_5 y 25 para OD; para la DBO última (DBO_u) se utilizó la expresión:

$$DBO_u = 1.43 \times DBO_5 \quad (13)$$

donde:

DBO_u - Demanda bioquímica de oxígeno de la última etapa.

DBO_5 - Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días.

En la Tabla 1 se muestran los parámetros para cada punto de muestreo obtenidos.

Tabla 1.- Datos y parámetros de los puntos de muestreo

| Punto | Distancia Km. | DBO_5 (mg/l) | DBO_u (mg/l) | OD (mg/l) |
|-------|------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| A | 98.5 | 2.26 | 3.2318 | 8.46 |
| B | 78.5 | 1.90 | 2.7170 | 8.60 |
| C | 65.5 | 4.03 | 5.7630 | 7.25 |
| D | 57.5 | 3.05 | 4.3620 | 8.20 |
| E | 46.5 | 2.70 | 3.8610 | 8.20 |
| F | 26.0 | 4.03 | 5.7630 | 8.06 |
| G | 0.0 | 3.85 | 5.5100 | 5.75 |

Fuente: C.N.A.

Cálculo de las constantes.

Constante de Desoxigenación (K_D).

Indica la velocidad con que se consume el oxígeno disuelto en el tramo de estudio, como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica carbonosa que contiene y se calcula con el objeto de conocer la cantidad de oxígeno que perderá el cuerpo.

Para determinarla se utilizó el método gráfico basado en la remoción de DBO, el cual consiste en graficar en papel semilogarítmico las DBO₅ como ordenada contra kilometraje o tiempo de paso como abscisa (Fig. 7), la pendiente de la recta ajustada multiplicada por la velocidad nos proporcionó la constante (Tabla III).⁽¹²⁾ La ecuación de la constante utilizada fue la siguiente:

$$K_D = 2.3[\log L_o - \log L] u/X \quad (14)$$

donde:

K_D - Tasa de desoxigenación (días⁻¹).

L_o - DBO₅ al inicio del tramo (mg/l).

L - DBO₅ al final del tramo (mg/l).

u - Velocidad de la corriente (m/día).

X - Longitud del tramo (m).

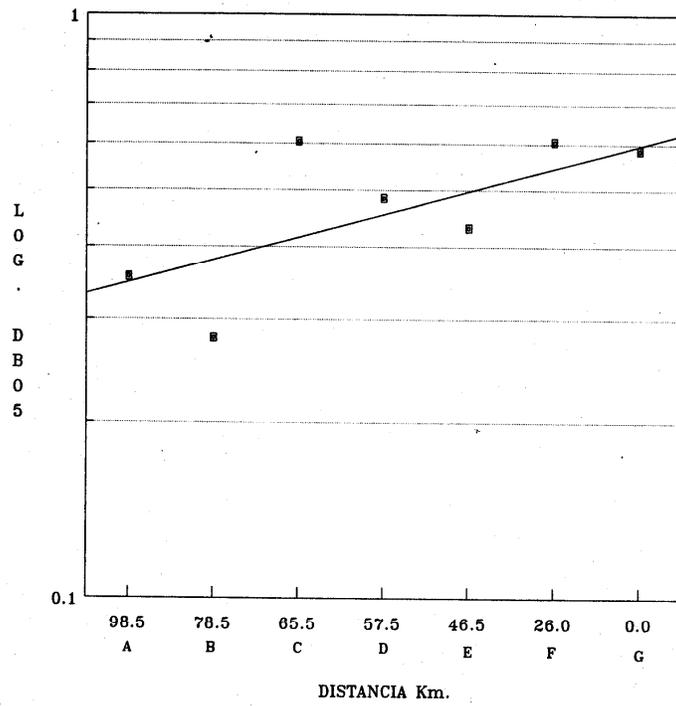


FIG. 7.- GRAFICA LOG. DB05 VS. DISTANCIA

Constante de Reaereación (K_2).

Este coeficiente nos proporciona la tasa de reoxigenación del agua mediante el intercambio con la atmósfera. Depende de la temperatura, velocidad de la corriente, profundidad y tipo de lecho. Su determinación tiene como objetivo conocer la cantidad de oxígeno disponible que tendrá el cuerpo en un tramo determinado, para oxidar la materia orgánica.⁽¹³⁾

Varios modelos han sido desarrollados para estimar este coeficiente, en el presente trabajo el cálculo se realizó con los valores de K_D , un factor de autopurificación de 1.5 a 20°C (Tabla II) y la ecuación de este factor (ecuación (15)). Los datos de K_D y K_2 a 20°C, para cada punto de muestreo se observan en la Tabla III.

$$f = K_2 / K_D \quad (15)$$

donde:

f - Factor de autopurificación.

K_2 - Constante de reaereación (días⁻¹).

K_D - Constante de desoxigenación (días⁻¹).

Tabla II.- Factor de Autopurificación (f) a 20°C

| INTERVALO | TIPO DE CORRIENTE |
|-----------|--|
| 0.5 - 1.0 | Estanques pequeños y remansos |
| 1.0 - 1.5 | Corrientes lentas y lagos o repesos |
| 1.5 - 2.0 | Corrientes grandes de baja velocidad |
| 2.0 - 3.0 | Corrientes grandes de velocidad moderada |
| 3.0 - 5.0 | Corrientes rápidas |
| > 5.0 | Rápidas y cascadas |

Fuente: referencia 24.

Tabla III.- Constantes de desoxigenación y reaeración a 20°C

| PUNTO | K_D (días ⁻¹) | K_2 (días ⁻¹) |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|
| A | 0.4717 | 0.708 |
| B | 0.6025 | 0.904 |
| C | 0.6025 | 0.904 |
| D | 0.6025 | 0.904 |
| E | 0.2145 | 0.320 |
| F | 0.2145 | 0.320 |
| G | 0.2145 | 0.320 |

Como los sitios de muestreo no se encuentran a 20°C y los cambios de temperatura producen aumento o reducción en la velocidad de reacción, así como en la transferencia de oxígeno, fue necesario realizar las correcciones por temperatura utilizando la expresión de Van't Hoff-Arrhenius:

$$K_1 = K_{20} (\Theta)^{T-20} \quad (16)$$

Los valores de Θ para cada constante son:⁽¹³⁾

$$K_D : \Theta = 1.047$$

$$K_2 : \Theta = 1.024$$

Las expresiones utilizadas para las correcciones por temperatura de cada constante fueron las siguientes:

$$K_D = K_{D_{20c}}(1.047)^{T-20} \quad (17)$$

$$K_2 = K_{20c}(1.0241)^{T-20} \quad (18)$$

En la Tabla IV se muestran las constantes corregidas por temperatura para cada uno de los puntos de muestreo.

Tabla IV.- Constantes corregidas por temperatura

| PUNTO | T (°C) | K_{D20} (días ⁻¹) | K_D (días ⁻¹) | K_{220} (días ⁻¹) | K_2 (días ⁻¹) |
|-------|-----------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| A | 23.6 | 0.4717 | 0.5565 | 0.708 | 0.7714 |
| B | 22.2 | 0.6025 | 0.6666 | 0.904 | 0.9526 |
| C | 27.3 | 0.6025 | 0.8425 | 0.904 | 1.0756 |
| D | 23.2 | 0.6025 | 0.6979 | 0.904 | 0.9756 |
| E | 23.8 | 0.2145 | 0.2554 | 0.320 | 0.3503 |
| F | 27.0 | 0.2145 | 0.2958 | 0.320 | 0.3780 |
| G | 23.0 | 0.2145 | 0.2462 | 0.320 | 0.3437 |

En esta zona de estudio la remoción de DBO se realiza por bioxidación, por ello la constante de remoción (K_R) es igual a la tasa de desoxigenación (K_D). De los valores presentados en la Tabla V, el del factor de autopurificación se obtuvo de los valores corregidos de las constantes y la ecuación (15). Este factor (f) representa la recuperación de oxígeno o la autopurificación de la masa de agua.

Tabla V.- Valores del factor de autopurificación (f)

| <i>PUNTO</i> | K_D (<i>días⁻¹</i>) | K_2 (<i>días⁻¹</i>) | K_R (<i>días⁻¹</i>) | <i>f</i> |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------|
| <i>A</i> | 0.56 | 0.77 | 0.56 | 1.4 |
| <i>B</i> | 0.67 | 0.95 | 0.67 | 1.4 |
| <i>C</i> | 0.84 | 1.08 | 0.84 | 1.3 |
| <i>D</i> | 0.70 | 0.98 | 0.70 | 1.4 |
| <i>E</i> | 0.26 | 0.35 | 0.26 | 1.4 |
| <i>F</i> | 0.30 | 0.38 | 0.30 | 1.3 |
| <i>G</i> | 0.25 | 0.34 | 0.25 | 1.4 |

Balance de Carga del Agua

Consiste en verificar que la carga orgánica al inicio de un tramo cualquiera es sensiblemente igual a la carga inicial del tramo anterior menos la carga removida por la corriente.

La tabla VI muestra los resultados que se obtuvieron para el balance de carga, al utilizar la siguiente ecuación:

$$Y = L_o - L_o e^{-K_D t} = L_o [1 - e^{-K_D t}] \quad (19)$$

donde:

Y - Carga removida en el tramo.

L - Carga orgánica como DBO_u, en un tiempo t.

L_o - Carga orgánica como DBO_u al inicio del tramo.

K_D - Coeficiente de desoxigenación.

t - Tiempo de recorrido en el tramo.

Tabla VI.- Balance de Carga del Agua

| TRAMO | t (días) | L_o (mg/L) | K_D (días ⁻¹) | Y (mg/L) |
|-------|---------------|-----------------|--------------------------------|---------------|
| A - B | 0.3645 | 3.2318 | 0.56 | 0.5967 |
| B - C | 0.2369 | 2.7170 | 0.67 | 0.3988 |
| C - D | 0.1458 | 5.7630 | 0.84 | 0.6643 |
| D - E | 0.2005 | 4.3620 | 0.70 | 0.5712 |
| E - F | 0.3737 | 3.8610 | 0.26 | 0.3575 |
| F - G | 0.4739 | 5.7630 | 0.30 | 0.7638 |

Aplicación del modelo de Streeter and Phelps

Para utilizar la ecuación general del modelo (ecuación 9), fue necesario calcular primero otros parámetros como son el tiempo de recorrido, el déficit inicial de oxígeno y la concentración de saturación de oxígeno. Enseguida se muestran las ecuaciones empleadas en los cálculos de dichos parámetros así como sus tablas de resultados.

Concentración de Saturación de Oxígeno

Los resultados que se presentan en la tabla VII se obtuvieron al utilizar la siguiente expresión:

$$C_s = \left[14.652 - 0.3943T + 0.00714T^2 - 0.0000646T^3 \right] \frac{Pb}{760} \quad (20)$$

donde:

C_s - Concentración de saturación de oxígeno, (mg/L).

Pb - Presión barométrica, (mmHg).

Tabla VII.- Concentración de saturación de oxígeno

| PUNTO | T (°C) | Pb (mmHg) | C_s (mg/L) |
|-------|-----------|--------------|-----------------|
| A | 23.6 | 721.0 | 8.04 |
| B | 22.2 | 721.0 | 8.26 |
| C | 27.3 | 731.0 | 9.57 |
| D | 23.2 | 731.0 | 8.88 |
| E | 23.8 | 738.4 | 8.69 |
| F | 27.0 | 738.4 | 8.17 |
| G | 23.0 | 744.0 | 8.39 |

Tiempo de Recorrido:

Para este parámetro se empleó la ecuación 21, y la Tabla VIII muestra los datos que se obtuvieron.

$$t = d/u \quad (21)$$

donde:

- t* - Tiempo de recorrido (días).
- d* - Distancia del tramo (m).
- u* - Velocidad de la corriente (m/día).

Tabla VIII.- Tiempo de recorrido

| TRAMO | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/día) | TIEMPO (días) |
|-------|------------------|----------------------|------------------|
| A - B | 20000.0 | 54864 | 0.3645 |
| B - C | 13000.0 | 54864 | 0.2369 |
| C - D | 8000.0 | 54864 | 0.1458 |
| D - E | 11000.0 | 54864 | 0.2005 |
| E - F | 20500.0 | 54864 | 0.3737 |
| F - G | 26000.0 | 54864 | 0.4739 |

Déficit inicial de Oxígeno

Los datos de la Tabla IX, se calcularon empleando la expresión siguiente:

$$D_o = C_s - OD \quad (1)$$

donde:

D_o - Déficit inicial de oxígeno (mg/L).

C_s - Concentración de saturación de oxígeno (mg/L).

OD - Oxígeno disuelto (mg/L).

Tabla IX.- Déficit inicial de oxígeno

| PUNTO | C_s (mg/L) | OD (mg/L) | D_o (mg/L) |
|-------|-----------------|----------------|-----------------|
| A | 8.04 | 8.46 | -0.42 |
| B | 8.26 | 8.60 | -0.34 |
| C | 9.57 | 7.25 | 2.32 |
| D | 8.88 | 8.20 | 0.68 |
| E | 8.69 | 8.20 | 0.49 |
| F | 8.17 | 8.06 | 0.11 |
| G | 8.39 | 5.75 | 2.64 |

Con los valores calculados de la concentración de saturación de oxígeno, tiempo de recorrido y el déficit inicial de oxígeno, se aplicó el modelo matemático de Streeter and Phelps (ecuación 9) para obtener los datos que se presentan en la Tabla X.

Tabla X.- Déficit de oxígeno disuelto

| TRAMO | $D_o e^{-K_2 t}$ | $\frac{K_D L_o}{K_2 - K_R}$ | $e^{-K_2 t}$ | $e^{-K_2 t}$ | D (mg/L) |
|-------|------------------|-----------------------------|--------------|--------------|-------------|
| A | -0.3220 | 8.6181 | 0.81540 | 0.7553 | 0.1979 |
| B - C | -0.2715 | 6.5014 | 0.85320 | 0.7985 | 0.0841 |
| C - D | 1.9820 | 20.1705 | 0.88470 | 0.8543 | 2.5952 |
| D - E | 0.5586 | 10.9050 | 0.86905 | 0.8216 | 1.0760 |
| E - F | 0.4299 | 11.1540 | 0.90740 | 0.8774 | 0.7645 |
| F - G | 0.0918 | 21.6110 | 0.86750 | 0.8352 | 0.7899 |

Tiempo Crítico

Como ya se mencionó, el tiempo crítico y el déficit crítico se calculan para conocer la cantidad de materia orgánica que debe descargarse al Río para mantener la concentración de oxígeno disuelto deseada.

En la Tabla XI se observan los resultados obtenidos al utilizar la ecuación 12, para calcular el tiempo crítico.

$$t_c = \frac{1}{K_D (f - 1)} \text{Ln} \left\{ f \left[1 - (f - 1) \frac{D_o}{L_o} \right] \right\} \quad (12)$$

donde:

t_c - Tiempo crítico (días).

K_D - Tasa de desoxigenación (días⁻¹).

f - Factor de autopurificación.

D_o - Déficit inicial de oxígeno (mg/L).

L_o - Carga inicial como DBO_u (mg/L).

Tabla XI.- Tiempo crítico

| PUNTO | K_D (días ⁻¹) | f | D_o (mg/l) | L_o (mg/L) | t_c (días) |
|-------|--------------------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|
| A | 0.56 | 1.4 | -0.42 | 3.2318 | 1.7283 |
| B | 0.67 | 1.4 | -0.34 | 2.7170 | 1.4377 |
| C | 0.84 | 1.3 | 2.32 | 5.7630 | 0.5301 |
| D | 0.70 | 1.4 | 0.68 | 4.3620 | 0.9718 |
| E | 0.26 | 1.4 | 0.49 | 3.8610 | 2.7346 |
| F | 0.30 | 1.3 | 0.11 | 5.7630 | 2.8510 |
| G | 0.25 | 1.4 | 2.64 | 5.5100 | 1.2371 |

Transporte neto de carga orgánica

En las siguientes páginas se presentan los cálculos efectuados para mostrar mediante una gráfica (Fig. 8) la diferencia entre la carga orgánica admisible por el Río y la carga real transportada por el mismo.

Carga orgánica real

Estos cálculos nos permiten conocer la carga real transportada por el Río en la zona de estudio.

$$T_N = C Q \left(\frac{86,400 \text{ seg}}{1 \text{ día}} \right) \left(\frac{1 \text{ Kg}}{10^6 \text{ mg}} \right) \left(\frac{1 \text{ Ton}}{10^3 \text{ Kg}} \right) \quad (22)$$

donde:

T_N - Transporte de carga (ton/día).

C - DBO₅ (mg/L).

Q - Flujo (lps).

Tabla XII.- Carga real transportada

| <i>PUNTO</i> | <i>C</i> <i>(mg/L)</i> | <i>Q</i> <i>(L/seg)</i> | <i>CARGA</i> <i>ORGANICA</i> <i>(Ton/día)</i> |
|--------------|---------------------------|----------------------------|---|
| <i>A</i> | <i>2.26</i> | <i>4699.0</i> | <i>0.9175</i> |
| <i>B</i> | <i>1.90</i> | <i>4699.0</i> | <i>0.7714</i> |
| <i>C</i> | <i>4.03</i> | <i>4699.0</i> | <i>1.6362</i> |
| <i>D</i> | <i>3.05</i> | <i>4699.0</i> | <i>1.2383</i> |
| <i>E</i> | <i>2.70</i> | <i>4699.0</i> | <i>1.0962</i> |
| <i>F</i> | <i>4.03</i> | <i>4699.0</i> | <i>1.6362</i> |
| <i>G</i> | <i>3.85</i> | <i>4699.0</i> | <i>1.5631</i> |

Carga asimilable

Para realizar los cálculos de la carga orgánica asimilable como DBO₅, se consideraron varias expresiones.

Para obtener el Déficit Crítico se utilizó la ecuación:

$$D_c = C_s - OD \quad (1)$$

para la cual el OD es el que se desea mantener en la corriente, de acuerdo al uso que se da al agua.

Según la Clasificación de la corriente, del punto de muestreo A al F se considera clase DIII agua para uso Agrícola e Industrial con OD = 3.2 mg/L y del

F al G como clase DI abastecimiento de Agua Potable y Desinfección con OD = 4.0 mg/L. Los resultados del déficit crítico se muestran en la Tabla XIII.

Tabla XIII.- Déficit crítico

| PUNTO | L_o (supuesta) | t_c (días) | D_c (mg/L) |
|-------|---------------------|-----------------|-----------------|
| A | 16.126 | 1.5483 | 4.84 |
| B | 16.763 | 1.2860 | 5.06 |
| C | 17.313 | 0.8780 | 6.37 |
| D | 17.743 | 1.1465 | 5.68 |
| E | 17.325 | 3.126 | 5.49 |
| F | 12.889 | 2.887 | 4.17 |
| G | 11.102 | 2.3652 | 4.39 |

Primeramente, se supuso un valor para la carga orgánica inicial L_o y se calculó t_c con ecuación (12), cuyo valor se substituyó en la ecuación (23), para obtener la carga orgánica crítica L_c (Tabla XIV).

$$t_c = \frac{1}{K_D (f - 1)} \ln \left\{ f \left[1 - (f - 1) \frac{D_o}{L_o} \right] \right\} \quad (12)$$

$$L_c = \frac{D_o f}{e^{-K_D t_c}} \quad (23)$$

Tabla XIV.- DBO crítica

| PUNTO | D_c (mg/L) | t_c (días) | L_c (mg/L) |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| A | 4.84 | 1.5483 | 16.126 |
| B | 5.06 | 1.2860 | 16.763 |
| C | 6.37 | 0.8780 | 17.313 |
| D | 5.68 | 1.1465 | 17.743 |
| E | 5.49 | 3.1260 | 17.325 |
| F | 4.17 | 2.8870 | 12.889 |
| G | 4.39 | 2.3650 | 11.102 |

Con los valores determinados de carga orgánica " L_c ", los cuales debieron ser iguales a los supuestos para L_o , se procedió al cálculo de la carga asimilable (Tabla XV) utilizando la expresión (19).

$$Y = L_c (1 - e^{-kDx}) \quad (19)$$

Tabla XV.- Carga orgánica asimilable

| PUNTO | L_c (mg/L) | t (días) | K_D (días ⁻¹) | Y (mg/L) |
|-------|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| A | 16.126 | 5 | 0.56 | 15.145 |
| B | 16.763 | 5 | 0.67 | 17.139 |
| C | 17.313 | 5 | 0.84 | 17.053 |
| D | 17.743 | 5 | 0.70 | 17.207 |
| E | 17.325 | 5 | 0.26 | 12.603 |
| F | 12.889 | 5 | 0.30 | 10.013 |
| G | 11.102 | 5 | 0.25 | 7.921 |

Los Transportes Neto de la Carga Admisible como DBO_s, para cada punto de muestreo, que se observan en la Tabla XVI se obtuvieron con la expresión (22).

$$T_N = 86,400 \times 10^{-9} C Q \quad (22)$$

Tabla XVI.- Carga orgánica admisible

| <i>PUNTO</i> | <i>Y</i> <i>(mg/L)</i> | <i>Q</i> <i>(L/seg)</i> | <i>CARGA</i> <i>ORGANICA</i> <i>ADMISIBLE</i> <i>(Ton/día)</i> |
|--------------|---------------------------|----------------------------|---|
| <i>A</i> | <i>15.145</i> | <i>4699</i> | <i>6.149</i> |
| <i>B</i> | <i>17.139</i> | <i>4699</i> | <i>6.958</i> |
| <i>C</i> | <i>17.053</i> | <i>4699</i> | <i>6.923</i> |
| <i>D</i> | <i>17.207</i> | <i>4699</i> | <i>6.986</i> |
| <i>E</i> | <i>12.603</i> | <i>4699</i> | <i>5.117</i> |
| <i>F</i> | <i>10.013</i> | <i>4699</i> | <i>4.065</i> |
| <i>G</i> | <i>7.921</i> | <i>4699</i> | <i>3.216</i> |

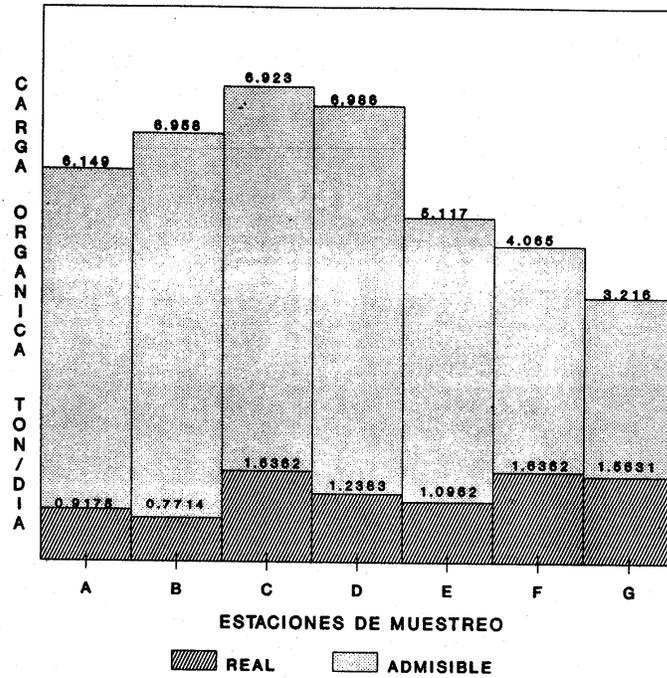


FIG.8.- CARGA ORGANICA REAL Y ADMISIBLE
 RIO SONORA (MAZOCAHUI-PRESA
 ABELARDO L. RODRIGUEZ)