



METODOLOGIA PARA LA EVALUACION APROXIMADA DE LA CARGA CONTAMINANTE

**Diciembre 1998
La Habana, Cuba**

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	3
DEFINICIONES	4
BASES METODOLOGICAS	5
INDICADORES PARA LA EVALUACION	6
INDUSTRIA AZUCARERA Y DE DERIVADOS	8
ACTIVIDADES AGROPECUARIAS	9
ACTIVIDAD DOMESTICA	14
INDICADORES DE CARGA	15
OTROS INDICADORES DE CARGA	16
EFICIENCIA DE REMOCION RELATIVA	18
CONTAMINACION ATMOSFERICA	19
EJEMPLOS PRACTICOS	21
BIBLIOGRAFIA	30

I. INTRODUCCIÓN.

Como parte de las actividades de gestión orientadas a la prevención, reducción y control de la contaminación, resulta esencial establecer un procedimiento a través del cual, sea posible conocer el estado actual de esta problemática y evaluar de forma ulterior las tendencias que se manifiestan en la calidad del medio, como resultado de la aplicación de un conjunto de alternativas de solución dirigidas a mitigar el impacto ambiental causado por el vertimiento de aguas residuales crudas o parcialmente tratadas hacia diversos cuerpos receptores.

Dentro de las actividades vinculadas al manejo integrado de las cuencas hidrográficas y zonas marino-costeras, resulta imprescindible el conocimiento de las cargas contaminantes generadas en los procesos productivos y sociales, considerando que usualmente cada actividad se caracteriza por la disposición al aire, suelo y/o agua de diferentes cantidades de contaminantes variados.

Tomando en cuenta que los procedimientos de caracterización son generalmente complejos y exigen de importantes recursos financieros, la utilización de indicadores de producción y consumo se presenta como un importante enfoque a considerar, dentro de las estrategias nacionales orientados a determinar los niveles de carga contaminante que son generados por las diferentes actividades de producción y servicios.

En este sentido, es importante indicar que esta herramienta de trabajo no sustituye, ni exime, a las entidades contaminadoras, de continuar trabajando en la caracterización de sus emisiones y descargas al medio ambiente, y perfeccionar sus indicadores propios.

La presente metodología brinda información concentrada de los indicadores hallados en Cuba y los obtenidos en la literatura internacional, con el fin que su utilización permita hacer una adecuada estimación de la carga contaminante.

II. OBJETIVOS

1 - Realizar una evaluación aproximada de la carga contaminante que proviene de las principales fuentes de contaminación identificadas a nivel nacional, priorizando aquellas que se encuentren localizadas en los territorios asociados a las cuencas hidrográficas de interés nacional y provincial.

2 - Desarrollar un instrumento que permita determinar la efectividad de las medidas y programas orientados a la disminución de la contaminación de las aguas terrestres y costeras, facilitando la identificación y establecimiento de prioridades de gestión, con arreglo a la evaluación cuantitativa de las tendencias manifiestas en la calidad del medio.

3 - Disponer de una herramienta de trabajo para la toma de decisiones, en el marco de los procedimientos de evaluación de impacto ambiental y elaboración de programas de manejo integral de cuencas hidrográficas y zonas marino-costeras.

III. DEFINICIONES

Caudal o gasto (Q): Medida que representa el volumen de residual que fluye por la sección transversal de una tubería o canal. Las medidas del caudal se expresan comúnmente en m^3/s , l/s , m^3/h ó m^3/d .

Caudal instantáneo : Volumen de residual que fluye por la sección transversal de una tubería o canal en un momento determinado. Se expresa en unidades de volumen entre tiempo, por ejemplo litro por segundo, metro cúbicos por hora, metro cúbicos por día, etc.

Caudal promedio : Es el caudal medio resultante de las mediciones realizadas durante campañas de medición horaria, sobre cuya base se calculan las cargas contaminantes y se diseñan los sistemas de tratamiento.

Caudales máximos y mínimos : Valores extremos de caudal en un período de tiempo determinado, por ejemplo, 1 día. Las mediciones de caudal promedio son muy variables y dependen de la naturaleza de cada proceso.

Concentración : Se entiende por concentración a una cantidad de sustancia en relación con un volumen determinado que la contiene, el que puede ser aire, suelo o agua. Se expresa en unidades de masa entre volumen para agua y aire: g/l , mg/l y para suelos g/g , mg/Kg , etc. Las unidades mas usuales son las siguientes : g/l , mg/l , g/g , $g/100g$, mg/g , mg/m^3 (aire), etc.

Carga contaminante ó carga másica: Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual. Comúnmente se expresa en $T/año$, $T/día$ ó Kg/d .

Aforo: Mediciones dirigidas a la determinación del caudal de una corriente residual.

Fuente puntual de contaminación: Se definen a las fuentes de contaminación de origen doméstico, agrícola e industrial, en las cuales las descargas y emisiones provienen de un conducto perceptible o ubicación geográfica particular que puede determinarse de forma precisa.

Unidad de producción : Es el producto que se produce, como cerveza, lápices, compotas, etc.

Nivel de producción o productividad : Es simplemente expresar cuantitativamente la cantidad del producto que se produce en unidad de tiempo. Por ejemplo metros cúbicos de cerveza por día, miles de lápices, acumuladores por día etc.

Indicador de carga contaminante o índice : Es la relación entre el nivel de producción y la carga contaminante que se genera en esa actividad. El índice fija una cantidad de sustancia determinada que es generada en la actividad productiva en un tiempo considerado.

Índice de consumo de agua/producción : Es la relación entre el consumo de agua y el nivel de producción, se expresa en unidades de volumen por unidades productivas. Por ejemplo metros cúbicos de agua por Hectolitros de cerveza producida, metros cúbicos de agua por tonelada de caña molida, etc.

IV. BASES METODOLÓGICAS

La evaluación aproximada de la carga contaminante se realizará en los principales sectores socioeconómicos, mediante la utilización adecuada de indicadores de producción y consumo, así como datos resultantes de los programas de caracterización y monitoreo realizados o actualmente en ejecución.

La etapa inicial del trabajo comprenderá la identificación de las principales fuentes puntuales de contaminación, localizadas en los territorios de las cuencas hidrográficas de interés nacional y provincial

La expresión general para la determinación de la carga contaminante para residuales líquidos es la siguiente :

$$\text{(Concentración) X (Caudal) = Carga}$$

$$\text{Kg/l X l/d = Kg/d}$$

Esta expresión es similar para emisiones gaseosas. Conociendo la concentración del contaminante y el volumen de gas emitido, es posible reportar el valor de carga correspondiente. Ejemplo: mg/m³.

Las carga contaminante de los residuos sólidos al suelo, se calculan simplemente conociendo el peso de la sustancia que se dispone en términos de tiempo.

La cuantificación de las cargas contaminantes por cada fuente se expresará en ton/año y los reportes de cargas consideraran su disminución correspondiente según el tratamiento parcial o total de las descargas y la reutilización y/o aprovechamiento aplicado.

Cuando existe un sistema de tratamiento se multiplicará la carga hallada por la eficiencia que alcanza el sistema, a fin de conocer la carga contaminante que realmente se esta disponiendo por parte de la instalación .

Considerando que en la medida que las actividades industriales son más complejas, el numero de parámetros contaminantes a considerar es mayor, en la práctica se realiza una selección de aquellos de mayor importancia para cada proceso específico.

En este sentido, las evaluaciones aproximadas se concentrarán fundamentalmente en la determinación de los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Disueltos (SD), Sólidos Sedimentables, Nitrógeno Total (N_T), Fósforo Total (P_T), Ortofosfato, Hidrocarburos (HC) y Grasas. En términos de contaminación del aire, se suelen incluir óxidos de nitrógeno y azufre, ácido sulfhídrico, ácido sulfúrico y partículas sólidas.

La selección de estos parámetros, no exige la inclusión de otros que estén asociados a procesos tecnológicos específicos, tales como: compuestos orgánicos tóxicos, metales pesados, etc.

Los resultados finales del trabajo se realizarán sobre la base de reportes numéricos y gráficos de cargas, para los diferentes sectores económicos y fuentes contaminantes en particular, localizadas en los territorios asociados a las cuencas hidrográficas de interés nacional y provincial.

V. INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN

V.1 Métodos para la medición de caudal

La descarga directa y el cómputo área-velocidad son los dos métodos principales utilizados en la medida del caudal.

Algunos de los principales y más sencillos métodos y aparatos utilizados dentro de la categoría de descarga directa, dependiendo de las condiciones de flujo existentes son:

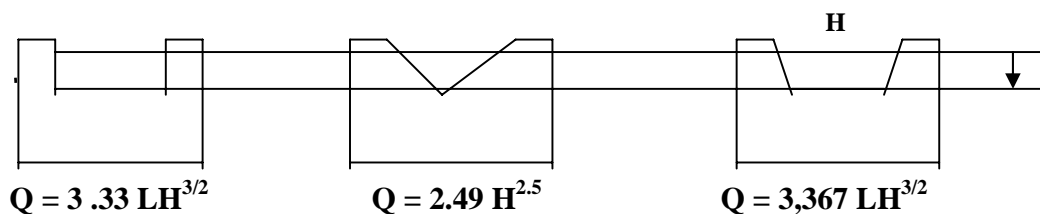
- Medida volumétrica de las descargas (Método de capacidad)

Consiste en la medición directa del caudal con un recipiente de volumen conocido y controlando el tiempo de llenado. El caudal Q, se obtiene aplicando la siguiente relación:

$$Q = (l/s) \frac{\text{Volumen del recipiente (l)}}{\text{Tiempo de llenado (s)}}$$

- Vertedores

Constituyen uno de los métodos más exactos para medir caudales, siempre y cuando las condiciones bajo las que se determinen los coeficientes de descarga se reproduzcan aproximadamente en los aforos. Los tres tipos más corrientes de vertedores son los rectangulares, triangulares y trapezoidales.



H: Altura máxima del líquido (m)

L: Distancia (m)

Algunos de los métodos y aparatos mas comúnmente empleados para la medición del caudal

sobre la base del computo área-velocidad incluyen:

- Métodos de sección - velocidad

Este método es aproximado y se basa en la aplicación de la relación:

$$Q \text{ (l/s)} = \frac{\text{Área (m}^2\text{) x Velocidad media (m/s)}}{1000}$$

La velocidad media puede ser medida determinando la velocidad superficial, pues están relacionadas por medio de la expresión:

$$\text{Velocidad media (m/s)} = 0.85 \times \text{Velocidad superficial (m/s)}$$

Para la medición de la velocidad superficial se utilizan materiales flotantes como corcho o bolitas de plástico, midiendo el tiempo en que estas recorren la distancia entre dos puntos en el sistema de recolección de residuales, pudiéndose escoger para ello, registros ubicados en tramos rectos.

El área debe ser determinada midiendo el tirante de agua en la tubería y haciendo uso de las relaciones geométricas: tirante de agua/diámetro de la tubería (d/D) y área mojada/área a tubo lleno (a/A) utilizando gráficos o nomogramas elaborados para ello.

- Trazadores con colorantes

El empleo de colorantes para medir la velocidad de flujo en corrientes que presentan un flujo prácticamente constante e uniforme, constituye uno de los métodos mas sencillos y comúnmente utilizados para la determinación del caudal.

El tiempo transcurrido en el curso del punto medio de la mancha brillante entre dos puntos fijados previamente, puede tomarse como una medida representativa del tiempo medio de flujo para una distancia determinada.

Se han utilizado con éxito diversos colorantes como trazadores, entre los cuales se encuentran: fluoresceína, rojo congo, permanganato potásico, rodamina B, pontacyl rosa B brillante, entre otros.

- Molinetes

Las mediciones con molinete se utilizan para la determinación precisa de la velocidad directa, siempre que no haya demasiado materia suspendida que pueda obturar el medidor. Los aforos de flujo pueden realizarse siguiendo diversos métodos: el de un solo punto, el de dos puntos , el de puntos múltiples y el de integración.

En el método de un solo punto, se mantiene el medidor a 0.6 de la profundidad de la corriente y en el centro de esta. Se trata de una aproximación general, adecuada solamente para observaciones rápidas que no pretenden ser exactas. En el método o de los dos puntos se observa la velocidad a 0.2 y 0.8 de la profundidad de la corriente, tomándose el promedio de estos dos valores para representar la velocidad media en la sección vertical.

La corriente puede dividirse en varias secciones verticales y la velocidad media total se determina por la velocidad media de cada una de estas secciones.

- Corrientómetros

Son equipos eléctricos, en los cuales a partir de la aplicación de los procedimientos anteriormente descritos en el acápite de los molinetes, es posible obtener de forma directa el valor de la velocidad de flujo existente en las corrientes bajo estudio.

V.2 INDUSTRIA AZUCARERA Y DE DERIVADOS

Características generales de los residuales de la industria azucarera y de derivados.

Industria	Índice de consumo	DQO(mg/l)
Central azucarero	0.5 m ³ /ton caña molida	5000 a 8000
Destilería	1.6 m ³ /Hl de alcohol	60 000 a 65 000
Levadura	70 m ³ /ton levadura	12 000 a 15000
	tecnología francesa	
	80m ³ /ton levadura	
	tecnología austríaca	

Fuente: Programa integral de desarrollo de los derivados de la caña de azúcar. Subprograma: Alcohol y levaduras, septiembre 1985.

Residuales líquidos

	Azucarero	Destilería	Levadura
N (Kg/ m ³)	0.05	0.0009	0.00010
P (Kg/ m ³)	0.075	0.00032	0.00013
DBO (mg/L)	3200-3300	29000	

Cantidad de cachaza generada = 3 - 4 % de la caña molida.

Fuente: Tratamiento de los desechos de la fábricas de producción de alcohol a partir de mieles de caña de azúcar mediante la recuperación de levadura *sacaromyces* y la producción de biogás, MINAZ, 1995

V.3 ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

V.3.1 Actividad porcina

Indicadores para la actividad porcina por animal equivalente (100Kg).

Indicador	Cerdo equivalente
DBO ₅	0.968
DQO	2.005
Nt	0.074
Pt	0.036
SST	0.58
Grasas	0.139
Consumo de agua	50 l/animal/d piso convencional 30 l/animal/d piso ranurado

Peso promedio de las especies existentes

Especie	Peso Promedio (Kg)
Ceba	41,5
Crías	3,75
Preceba	14,75
Verracos	120
Reproductoras	95
Cochinatas	52,50

Fuente: Bases de cálculo para el diseño de sistemas de tratamiento de residuales porcinos, EHH (INRH), CNIC (MES), 1989.

V.3.2 Despulpe de café

Las aguas residuales del despulpe del café son una fuente contaminante importante en las regiones cafetaleras, en Cuba la problemática se asocia a áreas montañosas donde se lleva a cabo esta actividad. La ausencia, en general, de un tratamiento adecuado eleva las cargas contaminantes que se disponen a los cuerpos receptores, lo que se agudiza debido a que la época de la cosecha y producción ocurre en meses comprendidos en la estación no lluviosa, lo que hace que los residuales del café se consideren responsables de eventos de contaminación de los recursos hídricos superficiales en las cercanías de las despulpadoras, transportando las corrientes la contaminación aguas abajo del vertimiento.

Los principales procesos tecnológicos del beneficio del café se dividen en dos:

- **Despulpe húmedo (agua-pulpa)**

el café maduro (cerezo) llega al centro de beneficio, se pesa y se traslada a un tanque donde se remueven los materiales extraños por medio del lavado con agua, después es trasladado por medios hidráulicos hasta las máquinas de despulpar, en las cuales se remueve la cáscara y parte de la pulpa. El proceso de despulpado y desmucilaginado ocurre en la misma máquina provocando un desmenuzamiento de la pulpa. Las aguas residuales son ricas en materia orgánica y sólidos en suspensión, la baja acidez es una característica de estos residuales.

- **Despulpado por fermentación**

Se realiza utilizando despulpadoras de cilindro, donde el despulpado es precedido por una fermentación de los frutos. En las máquinas se separa primero la pulpa y después en una segunda etapa mucílago. En este proceso se utiliza menos agua que en el despulpe húmedo. Las aguas residuales poseen características generales similares las anteriores descritas, aunque hay que destacar que el contenido de fenoles es menor en este caso (Viñas M. 1996).

Indicadores

Para la estimación de la carga contaminante de las despulpadoras de café estamos recomendando tomar cifras de concentración aproximadas dentro del rango de cada uno de los dos procesos, las que están de acuerdo con las investigaciones realizadas por (Viñas M. 1996) y reportadas en varios trabajos sobre esta temática.

- Los índices de consumo de agua para los dos procesos son los siguientes:

7 litros de agua / Kg de café cerezo procesado (proceso de fermentación de la pulpa)

20 litros de agua / Kg de café cerezo procesado (proceso agua-pulpa)

- Concentraciones medias estimadas:

Proceso (agua-pulpa)

DQO 15 000 mg/l

DBO₅ 8 500 mg/l

Sólidos totales 8 000 mg/l

Nitrógeno como N-NH₃ 15 mg/l

Fósforo total 25 mg/l

Proceso de fermentación

DQO 10 000 mg/l

DBO₅ 6500 mg/l

Sólidos totales 5000 mg/l

Nitrógeno como N-NH₃ 13 mg/l

Fósforo total 15 mg/l

Estimación de la carga contaminante

Con estos indicadores se puede calcular la carga contaminante en Kg/d generada por cada uno de los parámetros seleccionados, si se conoce el dato del peso de café cerezo que se procesa en un día (entendiéndose que es un día típico de producción).

Ejemplo:

Una despulpadora que utiliza el proceso de agua-pulpa trabaja en una zafra cafetalera de 130 días, obteniendo una cifra media de café húmedo procesado por día de 1000 kg.

La carga contaminante es igual a :

CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES X . CONCENTRACION

Calculo de las aguas residuales que se generan : Tomando el indicador que corresponde al proceso de agua-pulpa, que es de 7 litros / Kg de café cerezo procesado, lo multiplicamos por los Kg de café cerezo procesados (para el caso del ejemplo es de 1000 Kg/d), así obtendremos el caudal de aguas (volumen) generado en un día de producción.

CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES / DIA = 7 l/Kg . 1 000 Kg/d = 7 000 l/d

Calculo de las cargas de cada uno de los parámetros, utilizando los valores de concentraciones indicados anteriormente para el proceso de despulpado que se utilice:

$$\text{DQO (kg/d)} = 7\,000 \text{ l/d} \cdot 15\,000 \text{ mg/l} = 105\,000\,000 \text{ mg/d}$$

dividiendo entre 1 000 000 para llevar mg a kg tendríamos que se producen 105 kg/d de DQO.

$$\text{DBO}_5 \text{ (Kg/d)} = 7\,000 \text{ l/d} \cdot 8\,500 \text{ mg/l} = 59\,500\,000 \text{ mg/d}$$

dividiendo entre 1 000 000 para llevar mg a Kg tendríamos que se producen 59.5 Kg/d de DBO₅.

$$\text{SOLIDOS TOTALES (Kg/d)} = 7\,000 \text{ l/d} \cdot 8\,000 \text{ mg/l} = 56\,000\,000$$

dividiendo entre 1 000 000 para llevar mg a Kg tendríamos que se producen 56 Kg/d de sólidos totales.

$$\text{NITROGENO COMO NH}_3 \text{ (Kg/d)} = 7000 \text{ l/d} \cdot 15 \text{ mg/l} = 105\,000 \text{ mg/d}$$

dividiendo entre 1 000 000 para llevar mg a Kg tendríamos que se producen 0.105 Kg/d de N como NH₃.

$$\text{FOSFORO TOTAL (Kg/d)} = 7\,000 \text{ l/d} \cdot 25 \text{ mg/l} = 175\,000 \text{ mg/d}$$

dividiendo entre 1 000 000 para llevar mg a Kg tendríamos que se producen 0.175 Kg/d de fósforo total.

De igual manera se podría estimar la carga producida durante la zafra cafetalera. Para el caso del ejemplo, sólo se tendría que multiplicar las cifras halladas de las cargas contaminantes de cada uno de los parámetros que están expresadas en Kg/d por los días de zafra, o sea multiplicar por 130 días.

Se obtendrían los valores siguientes:

$$\text{DQO Kg/zafra} = 13\,650$$

$$\text{DBO}_5 \text{ Kg/zafra} = 7\,735$$

$$\text{Sólidos totales Kg/zafra} = 7\,280$$

$$\text{NITROGENO COMO NH}_3 \text{ (kg/zafra)} = 13.65$$

$$\text{FOSFORO TOTAL (kg/zafra)} = 22.75$$

Reducción de carga contaminante en presencia de un tratamiento de aguas residuales

Debido a la variabilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que actualmente se emplean no es posible dar cifras indicadoras de la eficiencia de estos procesos. Por otra parte, existen pocos estudios que hayan caracterizado correctamente las aguas residuales con el fin de calcular las cargas de entrada y salida de los sistemas y hallar las eficiencias en la remociones de los parámetros de interés. Es por éste motivo que la reducciones de las cargas en presencia de sistemas de tratamiento deben de estimarse, pero siempre señalando los elementos que se tuvieron en cuenta para llegar a un valor dado.

El calculo de la reducción de carga por el tratamiento es muy sencillo sólo hay que multiplicar la carga contaminante total por el % de eficiencia dividido entre 100. La carga remanente, o sea la que se dispondría a los cuerpos receptores, en este caso, es igual a la carga total multiplicada por $(100 - \text{el \% de eficiencia} / 100)$.

Para el ejemplo anterior supongamos que una laguna anaeróbica tiene demostrada una eficiencia de 60% en la reducción de la DQO.

$$\text{CARGA QUE SE REDUCE EN DQO (KG/d)} = 59.5 \text{ kg/d} \cdot (60/100) = 35.7$$

$$\text{CARGA QUE SE DISPONE EN DQO} = 59.5 \text{ Kg/d} \cdot (100 - 60) / 100 = 23.8$$

De igual forma se puede llevar a cabo un calculo similar para la zafra cafetalera ;

$$\text{CARGA DE DQO QUE SE REDUCE (kg/zafra)} = 13\ 650 \cdot (60/100) = 8\ 190$$

$$\text{CARGA DE DQO QUE SE DISPONE (KG/zafra)} = 13\ 650 \cdot (100 - 60) / 100 = 5\ 460$$

V.3.3 Ganado Vacuno

Por animal equivalente de 500 Kg:

$$\text{DBO}_5 = 800 \text{ g/d}$$

$$\text{Nitrógeno total} = 200 \text{ g/d}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5 = 70 \text{ g/d}$$

$$\text{K}_2\text{O} = 260 \text{ g/d}$$

V.3.4 Aves

Por animal equivalente de 1 Kg:

$$\text{DBO}_5 = 5 \text{ g/d}$$

$$\text{Nitrógeno total} = 28 \text{ g/d}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5 = 2 \text{ g/d}$$

$$\text{K}_2\text{O} = 1 \text{ g/d}$$

V.4 ACTIVIDAD DOMÉSTICA: AGUAS RESIDUALES

- **Caudales**

Caudal de aguas residuales que van al sistema de alcantarillado : Se estiman considerando un factor de retorno a los sistemas de recolección, el cual usualmente se toma entre el 85 y 90% del gasto entregado para el consumo doméstico.

Si se conocen los per cápitas de agua suministrados (l/hab/d) y se multiplican por el número de habitantes vinculados al sistema de alcantarillado y el factor de retorno, se obtendrá el caudal de aguas residuales generadas.

En la Tabla 1 se brindan estimados aproximados de indicadores de consumo para actividades sociales.

Aeropuertos	8 a 15	l/pasajero
Garajes	30 a 80	l/carro fregado/d
Hoteles	0.8 a 1.2	m ³ /habitación/d
Oficinas	20 a 45	l/empleador/d
Restaurantes	8 a 18	l/comensal/d
Hospitales	400 a 900	l/cama/d
Prisiones	150 a 250	l/preso/d
Escuelas	50 a 80	l/alumno/d
Habitante	150 a 200	l/habitante/d

En la Tabla No. 2 se muestran las contribuciones per cápitas de materia orgánica biodegradable.

Indicador	g/hab/d	Valor recomendado
DBO ₅	30 a 45	42
DQO	80 a 120	100
Nt	1.5 a 2.2	2
Pt	0.5 a 1.0	0.8

Fuente: Contribuciones percapitas de materia orgánica biodegradable CIRH (INRH), 1990.

V. 5 INDICADORES DE CARGA PARA OTRAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE INTERÉS

V.5.1 Industria Alimenticia

Actividad	Unidades	DBO5 g/unidades	Población equivalente
Panaderías	empleados	76	1.8
Procesamiento de alimentos	empleados	100	2.4
Producción de almidón	1 ton de almidón	25 200 a 50 400	600 a 1200
Verduras y frutas enlatadas	1 ton de producto	11 000 a 27 000	250 a 640
Confitería	empleados	160	3.8
Jugos de frutas	1 ton de frutas	11 000 a 13 500	260 a 450
Vinícola	1 m3 de producto	27 000	640
Leche	1000 l de leche	4 000 a 4 200	40 a 100
Mantequilla	1 ton de producto	54 000 a 107 500	1300 a 2560
Quesos	1 ton de queso	8 400	200
Leche condensada	1 ton de producto	4200	100
Leche en polvo	1 ton de producto	38 a 55	0.9 a 1.3
Pescado enlatado	1 ton de pescado	27 300 a 32 300	650 a 770
Harina de pescado	1 ton de pescado	11 000 a 27 000	260 a 640
Matadero de reses	1 ton de animal	8 400	200
Tenerías	1 ton de materia prima	3 400 a 5 500	80 a 130

V. 5.2 Actividad textil

Actividad	Unidades	DBO5 g/unidades	Población equivalente
Lavado de lana	1 ton de material	84 000 a 189 000	2000 a 4500
Blanqueado	1 ton de tela	42 000 a 147 000	1000 a 3500
Teñido	1 ton de tela	42 000 a 126 000	1000 a 3000
Procesamiento de cáñamo y lino	1 ton de material	29 400 a 126 000	700 a 3000
Producción de seda sintética y viscosa	1 ton de tela	33 600	800
Lavandería	1 ton de ropa	12 600 a 33 600	300 a 800
Lavado en seco	empleado	170	4

V. 5.3 Actividad de producción de papel

Actividad	Unidades	DBO5 g/unidades	Población equivalente
Pulpa	1 ton de pulpa	2 500 a 3 800	60 a 90
	1 ton de madera	550 a 1700	13 a 40
Celulosa de sulfito	1 ton de celulosa	189 000 a 302 400	4 500 a 7 200
Celulosa de sosa y celulosa de paja	1 ton de celulosa	29 500	700
Papel de celulosa y pulpa	1 ton de papel	10 500	250
Papel de trapos	1 ton de producto	50 400	1 200
Madera laminada y tableros laminares	1 ton de tablas	63 000	1 500

V.5.4 Industria química

Actividad	Unidades	DBO5 g/unidades	Población equivalente
Pinturas, barnices y lacas	empleados	1000 a 1700	25 a 40
Comercios y perfumes	empleados	420 a 840	10 a 20
Plásticos	empleados	630 a 840	15 a 20
Jabón	1 ton de jabón	54 600	1300

V.6 OTROS INDICADORES DE CARGA SOBRE UNA BASE ANUAL (Considerando ausencia de sistemas de tratamiento)

Proceso	Unidad	DBO (Kg/u)	DQO (Kg/u)	S. Susp. (Kg/u)	Aceite (Kg/u)	Otros
Instalaciones de cría de reses	cabezas	250	-	1716	-	
Instalaciones de cría de pollos	“	1.4	-	14.6		
Corderos	“	36.6	-	201	-	
Pavos	“	15	-	14.6	-	
Patos	“	1.4	-	14.6	-	
Granjas lecheras	“	539	-	-	-	
Proceso	Unidad	DBO (Kg/u)	DQO (Kg/u)	S. Susp. (Kg/u)	Aceite (Kg/u)	Otros

Granja de gallinas ponedoras	“	4.6	-	-	-	
Mataderos	PVS	6.4	-	5.2	2.8	
Sin recuperar sangre	“	11	-	-	-	
Sin recuperar panza se agrega	“	4.7	-	-	-	
Empacadora	“	6.3	-	3	2.3	
Proceso de aves de corral	1000 aves	11.9	22.4	12.7	5.6	
Enlatado de frutas y verduras	Ton de producción	12.5	-	4.3	-	
Enlatado de pescados	“	7.9	16	9.2	-	
Ref. de aceite vegetal	“	12.9	21	16.4	-	
Almidón y glucosa	“	13.4	21.8	9.7	1.2	
Producción de vino	m ³ de vino	0.26	-	-	-	
Producción de cerveza	m ³ de cerveza	8.6	-	14.7	-	
Planta generadora de electricidad	1000MW/h	2.2	17	286	0.15	Zn= 0.1 Ni = 0.047 Cr= 0.006

PVS: Peso vivo sacrificado

Fuente: Evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelo, OMS, México, 1988

V. 7 EFICIENCIA DE REMOCIÓN RELATIVA DE LOS PROCESOS DE

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (%)

Proceso	DBO	DQO	SS	N_t	P_t	Bacteria	N_{org}	N_{NH3}
Sedimentación primaria	25-40	30-40	50-70	-	10-20	25-75	10-20	-
Precipitación química	50-80	30-60	80-90	30-40	70-90	40-80	-	-
Lodo activado convencional	85-95	80-85	80-90	-	10-25	60-99	15-50	8-15
Planta de Biogás	85-95	85-90	-	-	-	-	-	-
Sist. 3 lagunas de estabilización, Tr>21días	90-95	-	85-99	-	-	-	-	-
Cloración residual crudo	15-30	-	-	-	-	-	-	-
Flotación de efluentes de TP y TB	-	-	55-80	-	-	-	-	-
Pptación química en fango activado	90-95	85-90	80-95	30-40	30-40	-	-	-
Adsorción con carbón de efluentes de TP y TB	70-90	60-75	80-90	-	-	-	-	-
Cloración de efluentes de TB	80-90	65-70	-	-	-	98-99	-	-
Lagunas de estabilización	70-95	-	-	20-90	-	-	-	-
Cámara de rejas y tamices finos	-	-	5-15	-	-	10-25	-	-
Pptación química de efluentes de TB	75-90	60-75	60-80	-	-	-	-	-
Aplicación al terreno de efluentes TP y TB	90-95	80-90	95-98	-	-	-	-	-
Discos Biológicos rotatorios	80-85	80-85	80-85	-	8-12	-	15-50	8-15
Proceso	DBO	DQO	SS	N_t	P_t	Bacteria	N_{org}	N_{NH3}
Filtros	65-85	60-85	60-85	-	8-12	90-95	15-50	8-15

percoladores								
Intercambio iónico selectivo	-	-	-	70-90	-	-	-	-
Adsorción con carbón	-	-	-	10-20	10-30	-	-	-
Laguna anaeróbica	40-60	-	-	-	-	-	-	-

TB: Tratamiento biológico

TP: Tratamiento primario

Fuentes : Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. Third Edition, 1991.

Metcalf and Eddy. Tratamiento y depuración de las aguas residuales, primera edición, 1977.

V.8 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Relación para la estimación de emisiones de SO₂ en base a los índices de consumo de combustible y el % de azufre contenido en el combustible.

$$20 \times \text{Ton/h} \times \% \text{ S} = \text{Kg/h SO}_2$$

V.9 INDICADORES DE CARGA PARA EMISIONES ATMOSFÉRICAS (BASE ANUAL)

Proceso	Unidad	PST (Kg/u)	SO ₂ (Kg/u)	No _x (Kg/u)	HC (Kg/u)	CO (Kg/u)	Otros (Kg/u)
Enlatado de pescado	T	0-05	-	-	-	-	H ₂ S = 0.005
Fca de caña de azúcar	“	20	-	-	-	-	-
Fca de almidón	“	4	-	-	-	-	-
Fca de pulpa sulfatada (Kraft) sin control de emisiones	“	123	2.5	-	-	-	H ₂ S = 7.2
Con depuradores	“	27	2.5	-	-	-	-
Produc. de cerveza	m ³	4	-	-	-	-	-
Proceso	Unidad	PST (Kg/u)	SO ₂ (Kg/u)	No _x (Kg/u)	HC (Kg/u)	CO (Kg/u)	Otros (Kg/u)
Produc. de	“	-	-	-	-	-	HCL =3

HCL sin controles de emisión							
Con controles	“	-	-	-	-	-	HCL = 2
Produc. H ₂ SO ₄	“	-	20	-	-	-	-
Produc HNO ₃ sin controles	“	-	-	26.2	-	-	-
Con controles	“	-	-	2.5	-	-	-
Fca de cloro-alcalis (celda de Hg) sin controles	T de Cl ₂	-	-	-	-	-	CL ₂ = 306
con adsorbente de agua	“	-	-	-	-	-	Cl = 8.5
Superfosfato normal	T	4.5	-	-	-	-	F ₂ = 0.075
Superfosfato triple	“	-	-	-	-	-	F ₂ = 0.015
Fosfato de amonio	“	41	-	-	-	-	F ₂ = 0.02
Fertilizante a base de nitrato de amonio	“	5	-	2	-	-	NH ₃ = 1.5
Urea	“	10	0.7	2	-	-	NH ₃ = 5
Fibras de rayón	“	-	-	-	-	-	CS ₂ = 27.5 H ₂ S = 3
Detergente con ciclón seco	“	4	-	-	-	-	-
Sin control	“	45	-	-	-	-	-
Ref de petróleo crudo	m ³ de capac.	-	-	-	10.6	-	-
Vidrio y sus productos (sin emisiones de quema de combustible).	“	1	-	-	-	-	F ₂ = 10
Cemento (proceso seco) sin control de emisiones	“	170	5.1	1.3	-	-	-
Proceso	Unidad	PST (Kg/u)	SO₂ (Kg/u)	No_x (Kg/u)	HC (Kg/u)	CO (Kg/u)	Otros (Kg/u)
con	“	34	-	-	-	-	-

multiciclones							
con precipitadores electrostáticos	“	8.5	-	-	-	-	-
con precipitadores y multiciclones	“	4.3	-	-	-	-	-
Planta de cal con hornos giratorios no controlados	“	170	-	1.5	-	1	-
con hornos giratorios con ciclones	“	100	-	1.5	-	1	-
con hornos verticales no controlados	t	4	-	-	-	-	-
Fundición de acero y hierro gris	“	8.5	-	-	-	7.5	-
Producción de cervezas	-						

Fuente: Evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelo, OMS, México, 1988

V. 10 EJEMPLOS PRACTICOS

Ejemplo No. 1

Cálculo de un indicador.

Una industria produce 800 acumuladores por día, la carga contaminante en función del plomo en las aguas residuales es de 50 g/d. El indicador entre la producción de acumuladores y la cantidad de plomo que se genera es :

$$\text{Indicador} = 50\text{g(Pb)}/\text{día} / 800 \text{ acumuladores} = 0.063 \text{ g(Pb)}/\text{acumulador}$$

Si en condiciones similares de tecnología tuviéramos que evaluar la carga contaminante en Pb de otra planta de acumuladores que produce 1200 unidades por día lo calcularíamos de la forma siguiente :

Indicador (g Pb/acumulador) . número de acumuladores

$$\text{sea : } (0.063) \times (1200) = 75.6 \text{ g Pb/día}$$

Ejemplo No.2

Una industria de acumuladores que produce 800 acumuladores por día consume 80 m³/día de agua, cual sería su índice de consumo de agua / producción.

$$\text{Índice de consumo / producción} = 80 \text{ m}^3/\text{d} / 800 \text{ acumuladores} = 0.1 \text{ m}^3/\text{acumulador}$$

Ejemplo No.3

Un colector terminal de alcantarillado está vinculado a una población de 10 000 habitantes, calcule las cargas que se generan.

$$\text{DBO}_5 \text{ (Kg/d)} : (10\,000 \text{ hab}) (42) / 1000 = 420$$

$$\text{DQO (K/d)} : (10\,000 \text{ hab}) (100) / 1000 = 1000$$

$$\text{Nt (Kg/d)} : (10\,000 \text{ hab}) (2) / 1000 = 20$$

$$\text{Pt (Kg/d)} : (10\,000 \text{ hab}) (0.8) / 1000 = 8$$

Ejemplo No. 4

Un colector terminal de alcantarillado posee una DBO₅ de 120 mg/l, el volumen de agua servido

para el consumo es de 250 m³/d, calcule la carga de DBO₅ que se genera.

$$\text{Carga DBO}_5 \text{ (Kg/d)} = (120) (250) / 1000 = 30$$

Cual seria la población atendiendo a un per cápita de 42 g DBO₅/hab/d.

$$(30 \text{ (Kg/d)}) (1000) / 42 \text{ g DBO}_5/\text{hab/d} = 714 \text{ habitantes}$$

Ejemplo No. 5

Un central azucarero muele diariamente 100 000 @., calcule la carga de DQO máxima que genera teniendo en cuenta los indicadores anteriormente señalados.

$$100\ 000 \text{ @ a toneladas} = 45.36 \text{ ton}$$

$$\text{Caudal (m}^3/\text{d)} = (45.36) (0.5) = 22.68$$

$$\text{Carga DQO (Kg/d)} : (22.68) (8000) / 1000 = 181$$

¿Cual es la población equivalente?

$$\text{Población equivalente} = 181\ 000 / 100 = 1810 \text{ hab}$$

Calcule el aporte de Nt y Pt a un embalse que posee una superficie de espejo de agua de 5 Ha, si la cochiguera tiene una masa porcina de 96 toneladas.

$$\text{Animales equivalentes (100 Kg)} = (96 \text{ ton}) (1000) / 100 = 960$$

$$\text{Nt (Kg/d)} = (960) (0.074) = 71$$

$$\text{Pt (Kg/d)} = (960) (0,036) = 34.6$$

La carga superficial al embalse es la siguiente :

Carga superficial en $N_t = 71/5 = 14.2 \text{ Kg/Ha/d}$

Carga superficial en $P_t = 34.6/5 = 6.92 \text{ Kg/Ha/d}$

Ejemplo No. 7

Una destilería procesa diariamente 100 HL de alcohol. El 50 % de los mostos residuales se utiliza en las labores de fertirriego, mientras que el otro 50 % se alimenta a una planta de biogás que abastece energéticamente una unidad de calderas.

Las determinaciones de DBO y DQO realizadas a la entrada y salida de la planta, permitieron establecer que atendiendo a la baja estabilidad alcanzada en el proceso, producto de las grandes variaciones de pH, solo fue posible alcanzar un 50 % de eficiencia con respecto al nivel de eficiencia de proyecto que es de un 90 % para estos parámetros.

- Considerando el consumo de agua por unidad de producción

$$1.6 \text{ m}^3/\text{HL alcohol} = 160 \text{ m}^3/\text{d de agua residual}$$

- El 50 % de las aguas residuales se utiliza en el fertirriego por lo tanto se tienen 80 m^3 de agua residual.
- Considerando los valores de concentración promedio de $\text{DQO} = 62500 \text{ mg/l}$ y $\text{DBO} = 29000 \text{ mg/l}$

Tenemos $\text{DQO} = 62,5 \text{ Kg/m}^3 \times 80 \text{ m}^3/\text{d} = 5000 \text{ Kg/d}$

$$\text{DBO} = 29 \text{ Kg/m}^3 \times 80 \text{ m}^3/\text{d} = 2320 \text{ Kg/d}$$

- Cabe esperar según eficiencia de proyecto para estos parámetros (90 % de remoción), una carga contaminante aproximada de:

$$\text{DQO} = 500 \text{ Kg/d}$$

$$\text{DBO} = 232 \text{ Kg/d}$$

- Considerando solo un 50 % de la eficiencia de proyecto, la carga contaminante sería:

$$\text{DQO} = 2250 \text{ Kg/d}$$

$$\text{DBO} = 1044 \text{ Kg/d}$$

Ejemplo No. 8

En una unidad porcina que posee 10 000 cabezas y cuya estructura es de piso ranurado, las aguas residuales generadas, una vez pasada una etapa de sedimentación primaria se incorporan a un sistema de 3 lagunas de estabilización con tiempo de retención mayor a 21 días, mientras que los lodos resultantes se alimentan a un digestor de tratamiento anaerobio que abastece energéticamente las instalaciones de la unidad.

Los resultados promedios del monitoreo sistemático realizado a las aguas residuales arrojaron los siguientes valores: DQO = 20 000 mg/l, DBO = 18 500 mg/l, SS = 15 000 mg/l.

- Considerando piso ranurado

$$\text{Cerdos equivalentes a } 100 \text{ Kg} \times 30 \text{ L /cerdo/día} = 3\,000 \text{ l/d}$$

- Considerando los resultados promedios de los resultados del monitoreo, la contaminante aproximada sería de:

$$\text{DQO} = 3 \text{ m}^3/\text{d} \times 20 \text{ Kg/m}^3 = 60 \text{ Kg/d}$$

$$\text{DBO} = 3 \text{ m}^3/\text{d} \times 18.5 \text{ Kg/m}^3 = 55,5 \text{ Kg/d}$$

$$\text{SS} = 3 \text{ m}^3/\text{d} \times 15 \text{ Kg/m}^3 = 45 \text{ Kg/d}$$

- Considerando la eficiencia promedio relativa de una sedimentación primaria, tendríamos una carga remanente aproximada en el líquido sobrenadante de:

$$\text{DQO} = 39 \text{ Kg/d} \quad \text{para un } 35 \% \text{ de remoción}$$

$$\text{DBO} = 37.7 \text{ Kg/d} \quad \text{para un } 32 \% \text{ de remoción}$$

$$\text{SS} = 18 \text{ Kg/d} \quad \text{para un } 60 \% \text{ de remoción}$$

- Considerando la eficiencia promedio relativa de un sistema de 3 lagunas con tiempo de retención superior a 21 días, la carga contaminante final en el efluente sería de:

DQO = 4 Kg/d para un 90 % de remoción

DBO = 1.08 Kg/d para un 92 % de remoción

SS = 4.5 Kg/d para un 75 % de remoción

- Otra forma de calcular la carga contaminante sin disponer de los datos del monitoreo sería:

1000 cabezas/100 Kg = 100 cerdos equivalentes a 100 Kg

- Considerando las características de los residuales porcinos por animal equivalente, tendríamos una carga contaminante aproximada de:

$$\text{DBO} = \frac{0.968 \text{ Kg}}{\text{cerdo equiv} \cdot \text{d}} \times 100 \text{ cerdos equiv} = 96.8 \text{ Kg/d}$$

DQO = 200.5 Kg/d

N = 7.4 Kg/d

P = 3.6 Kg/d

ST = 116.6 Kg/d

SS = 58 Kg/d

Grasas = 13.9 Kg/d

Los análisis posteriores de reducción de cargas, tomaran en cuenta su disminución según el tratamiento parcial o total, con arreglo a los niveles de eficiencia de remoción de los distintos parámetros.

Ejemplo No. 9

En un taller de acabado de superficies se realiza un tratamiento a unas piezas metálicas a base de

electrolitos de Níquel y Cadmio cianurado y Cromo. Las corrientes residuales cianuradas provenientes de los baños de enjuague son segregadas con vistas a su tratamiento posterior por adición de hipoclorito cálcico, mientras que la corriente de Cromo pasa a una etapa de reducción de Cromo VI a III por adición de bisulfito de sodio en medio ácido y una posterior etapa de neutralización con adición de Hidróxido de Sodio, en la cual el cromo es separado en forma de Hidróxido. Al final del proceso, las corrientes se unen en una canalización general que descarga a un cuerpo fluvial cercano a la instalación.

Los lodos resultantes de la neutralización son bombeados a un filtro prensa para eliminar la humedad y transportados a un vertedero controlado

Los resultados promedios de las determinaciones que se realizan sistemáticamente permiten establecer que ambas etapas de tratamiento poseen un nivel de eficiencia de un 99 % para corrientes residuales con

$$Ni = 50 \text{ mg/l}, Cd = 10 \text{ mg/l}, Cr = 100 \text{ mg/l}, CN = 5 \text{ mg/l}.$$

El índice de producción del taller es de $10\,000 \text{ m}^2$ de superficie tratada diaria, pudiéndose establecer que el índice de consumo de agua es igual a $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de superficie tratada.

- Considerando los índices de producción y consumo de agua, tenemos:

$$\frac{10\,000 \text{ m}^2 \text{ de superficie tratada}}{\text{d}} \quad \times \quad \frac{0.5 \text{ m}^3 \text{ de H}_2\text{O}}{\text{m}^2 \text{ de superficie tratada}}$$

$$\frac{10\,000 \text{ m}^2 \text{ de superficie tratada}}{\text{d}} \quad \times \quad \frac{0,5 \text{ m}^3 \text{ de H}_2\text{O}}{\text{m}^2 \text{ de superficie tratada}} = 5\,000 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Considerando los resultados promedios de las determinaciones que se realizan sistemáticamente, tendríamos una carga contaminante de:

$$Cr = 5\,000 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,1 \text{ kg/ m}^3 = 500 \text{ Kg/d}$$

$$Cd = 5 \text{ Kg/d}, Ni = 25 \text{ Kg/d}, CN = 2,5 \text{ Kg/d}$$

- Considerando un 99 % de remoción para ambas etapas de tratamiento, tendríamos una carga remanente aproximada de:

$$Cr = 0,5 \text{ Kg/d}, Cd = 0.05 \text{ Kg/d}, Ni = 0.25 \text{ Kg/d}, CN = 0,025 \text{ Kg/d}$$

Ejemplo No. 10

Tres colectores terminales pertenecientes a un asentamiento urbano de 15 000 habitantes posee

un caudal promedio de 100, 150 y 200 l/s. Los resultados promedios de las mediciones realizadas a los 3 colectores arrojaron los siguientes valores: DBO = 200 mg/l, DQO = 500 mg/l, SS = 200 mg/l, N = 40 mg/l, P = 10 mg/l

Las corrientes residuales convergen en una canalización general, en la cual se ha instalado un vertedor triangular con ángulo de 90^0 en el cual la altura del líquido alcanza 0.2 m. Luego de un pretratamiento en una cámara de rejillas y un desarenador las aguas son alimentadas a un filtro percolador de alta carga.

- Determinando el caudal en la presa triangular, tenemos:

Para $\theta = 90^0$

$$Q = 2.49 H^{2.5} \quad Q = 2.49 (0.2)^{2.5} \quad Q = 0.044 \text{ m}^3/\text{s} = 3848 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Tomando en consideración los resultados promedios del monitoreo, la carga contaminante sería:

$$\begin{aligned} \text{DBO} &= 3848 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.2 \text{ Kg/m}^3 = 769.6 \text{ kg/d} \\ \text{DQO} &= 1924 \text{ Kg/d} \\ \text{SS} &= 769.6 \text{ Kg/d} \\ \text{N} &= 154 \text{ kg/d} \\ \text{P} &= 38.5 \text{ Kg/d} \end{aligned}$$

- Considerando la eficiencia de remoción promedio relativa de un filtro percolador en condiciones normales de operación, tendríamos una carga contaminante aproximada de:

$$\begin{aligned} \text{DBO} &= 192 \text{ kg/d} \quad \text{asumiendo } 75 \% \text{ de remoción} \\ \text{DQO} &= 481 \text{ Kg/d} \quad \text{asumiendo } 75 \% \text{ de remoción} \\ \text{SS} &= 192 \text{ Kg/d} \quad \text{asumiendo } 75 \% \text{ de remoción} \\ \text{N} &= 138.6 \text{ kg/d} \quad \text{asumiendo } 10 \% \text{ de remoción} \\ \text{P} &= 34.6 \text{ Kg/d} \quad \text{asumiendo } 10 \% \text{ de remoción} \end{aligned}$$

- Otra forma de calcular las cargas, sería a partir de las contribuciones per cápitas por habitante, con lo que tendríamos:

$$\begin{aligned} \text{DBO} &= 15\,000 \text{ hab.} \times 42 \text{ g DBO/hab.día} = 630 \text{ Kg/d} \\ \text{DQO} &= 1200 \text{ Kg/d} \\ \text{N} &= 30 \text{ Kg/d} \\ \text{P} &= 12 \text{ Kg/d} \end{aligned}$$

Ejemplo No. 11

Una central termoeléctrica de 100 Kw/h posee un índice de consumo de combustible de 0.005 ton/Kw producido. El combustible utilizado posee un 4,5 % de Azufre. Las emisiones resultantes

pasan a través de un depurador húmedo, cuya eficiencia de remoción es de un 90 %.

- Considerando el índice de consumo de combustible tenemos:

$$100 \text{ Kw/h} \times 0.005 \text{ ton/Kw} = 0.5 \text{ ton/h} = 12 \text{ ton/d}$$

- Considerando que estequiometricamente:



Cabe esperar que 0.54 ton de S/d considerando un 4.5 % de de S, generen 1.08 ton/d de SO₂

- Otra manera de determinar, incluye el empleo de la formula

$$20 \times \text{Ton/h} \times \% \text{ s} = \text{Kg/h de SO}_2$$

$$20 \times 0.5 \times 4,5 = 45 \text{ Kg/h} = 1080\text{kg/d} = 1.08 \text{ ton/d de SO}_2$$

- Considerando la eficiencia de remoción del depurador húmedo, la carga contaminante emitida sería de:

$$\text{SO}_2 = 0.108 \text{ Ton/d para } 99 \% \text{ de remoción}$$

BIBLIOGRAFIA

1. García J. M. y Grupo de Trabajo (1991). Evaluación aproximada de la carga contaminante afluyente a zonas costeras proveniente de fuentes terrestres. Informe Final Cuba. Proyecto CEPOL- Fuentes Terrestres. UCR-PNUMA-Jamaica.
2. Tratamiento de los desechos de las fábricas de producción de alcohol a partir de mieles de caña de azúcar mediante la recuperación de levadura *saccharomyces* y la producción de biogás, MINAZ, 1995.
3. Perspectiva Regional sobre las fuentes de contaminación de origen terrestre en la Región del Gran Caribe. Informe Técnico No. 33 del PAC, 1994.
4. Evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelo, OMS, 1988.
5. Programa integral de desarrollo de los derivados de la caña de azúcar. Subprograma: Alcohol y levaduras, septiembre 1985.
6. Tratamiento de los desechos de las fábricas de producción de alcohol a partir de mieles de caña de azúcar mediante la recuperación de levadura *saccharomyces* y la producción de biogás, MINAZ, 1995
7. Bases de cálculo para el diseño de sistemas de tratamiento de residuales porcinos, EHH (INRH), CNIC (MES), 1989.
8. Evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelo, OMS, México, 1988
9. Contribuciones per cápitas de materia orgánica biodegradable CIRH (INRH), 1990.
10. Metcalf and Eddy. Waste water Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. Third Edition, 1991.
11. Metcalf and Eddy. Tratamiento y depuración de las aguas residuales, Primera edición, 1977.