

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FORMOSA



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

# Contaminación del Recurso Hídrico

---

Ingeniería Sanitaria

Mg Ing. Guillermo Mendez

Noviembre de 2019

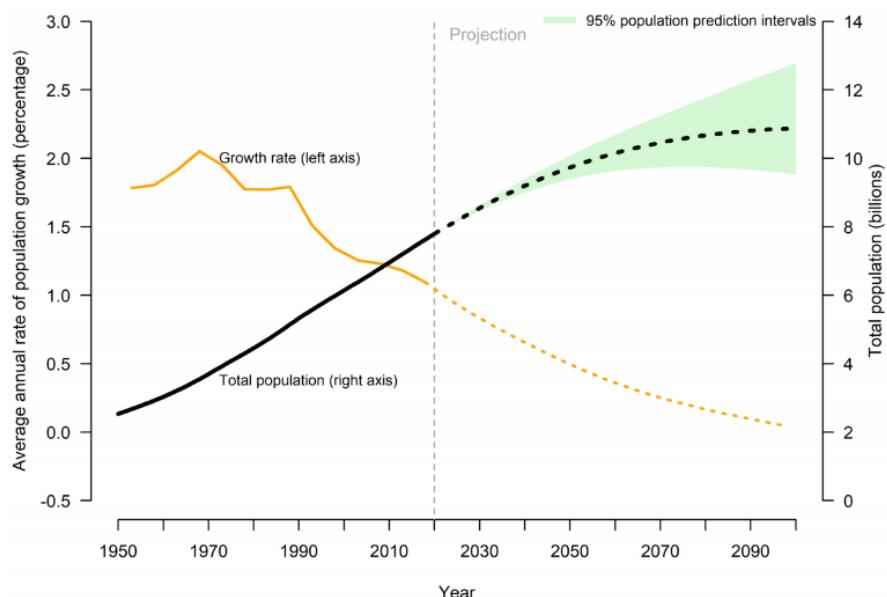
## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DEFINICIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>CAUSAS ANTRÓPICAS DE LA CONTAMINACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b>TIPOS DE CONTAMINACIÓN SEGÚN EL VERTIDO .....</b>	<b>5</b>
<b>5.</b>	<b>EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>6.</b>	<b>EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR EL VERTIDO DE LÍQUIDOS CLOACALES .....</b>	<b>6</b>
<b>7.</b>	<b>AUTODEPURACIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>7.1.</b>	<b>Mecanismos de autodepuración.....</b>	<b>7</b>
<b>8.</b>	<b>CURVA DE OXIGENO DISUELTO EN CUERPOS DE AGUA .....</b>	<b>9</b>
<b>8.1.</b>	<b>Curva Colgante de Oxígeno Disuelto .....</b>	<b>9</b>
<b>8.2.</b>	<b>Curva Colgante en Condiciones Anerobicas.....</b>	<b>11</b>
<b>9.</b>	<b>ZONAS DE UN RÍO FRENTE AL VOLCAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>11</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2019 la población mundial alcanzó los 7,7 mil millones de personas. Para el año 2050, las proyecciones demográficas indican que el mundo alcanzará valores de entre 9 mil y 11 mil millones de personas (Figura 1).

Sin dudas uno de los objetivos vitales del hombre es poder acceder a recursos hídricos que garanticen su subsistencia, desarrollo y permanencia en este mundo. Su avidez de agua no solo se limita a la ingesta sino que está relacionada con todas sus actividades, tanto sean estas domésticas, comerciales, industriales y agrícolas. En la medida en que las sociedades se desarrollan, las actividades se complejizan y demandan más y mejor calidad de agua. La demanda de agua se ha incrementado considerablemente, mientras la población se cuadruplicó en un siglo, el consumo de agua se multiplicó por nueve, y los consumos industriales por cuarenta (Foro Mundial del Agua, 2003).



**Figura 1.** Población mundial y tasas de crecimiento anual periodo 1950 -2020 y proyecciones de población 2020-2100 (Organización de Naciones Unidas, 2019)

La demanda de agua aumenta pero no la hace la oferta. La cantidad de agua en la Tierra es limitada, no renovable y mal repartida en el tiempo y en el espacio. Por tanto, basados en las proyecciones de la población mencionadas, se espera que para el año 2025 un tercio de la población esté en condiciones de carencia de agua o estrés hídrico.

La contaminación del agua es el resultado de un manejo negligente del recurso hídrico, sus efectos no solo ponen en peligro a las personas expuestas sino que reducen la oferta de agua para consumo humano o una disminución de la calidad de la fuente, limitando los tipos de uso o demandando mayores esfuerzos y costos para su tratamiento.

Como veremos en este documento, la carencia de servicios sanitarios, la ausencia de redes colectoras y sistemas de tratamientos de aguas residuales generan contaminación de los cuerpos de aguas que reciben las aguas residuales, limitando las posibilidades de un desarrollo sustentable para alcanzar condiciones dignas de vida para todos los que habitamos el planeta y para sus futuras generaciones.

En el año 2003, se estimaba que 2.400 millones de personas Vivian sin adecuada disposición de excretas y que 4 millones de niños morían por año a causa de enfermedades de origen hídrico. Si esto no se realiza un uso adecuado del agua estos números aumentarán.

## 2. DEFINICIÓN

---

La contaminación del agua consiste en el vertido de residuos sólidos o líquidos, el depósito de materiales o cualquier otra acción susceptible de causar deterioro o incrementar el grado del mismo, en la calidad de las aguas, modificando sus características físicas, químicas, biológicas y bacteriológicas.

Pero como se estudio en el inicio de la materia, la calidad del agua se mide y categoriza en función del uso que se pretende dar a esta (Consumo Humano, Consumo Industrial, Recreativo, Pesca comercial, Acuacultura, Irrigación, Bebida de ganado, etc.). Entonces se dice que existe un problema de contaminación cuando uno o más usos del agua se ven afectados.

Un agua está contaminada cuando se ve alterada su composición o estado, directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo que quede menos apta para uno o todos los usos a que va destinada, para los que sería apta en su calidad natural

Algunas veces, un tipo de uso puede generar contaminantes que afecten o hagan inviable otro uso. Por tanto la legislación debe fijar prioridades y, en tal sentido, la prioridad número uno debe ser asignada al consumo humano.

### 3. CAUSAS ANTRÓPICAS DE LA CONTAMINACIÓN

Las causas de la contaminación de las aguas por acciones del hombre pueden clasificarse según las actividades que los generan, tal como se indican en la Figura 2.

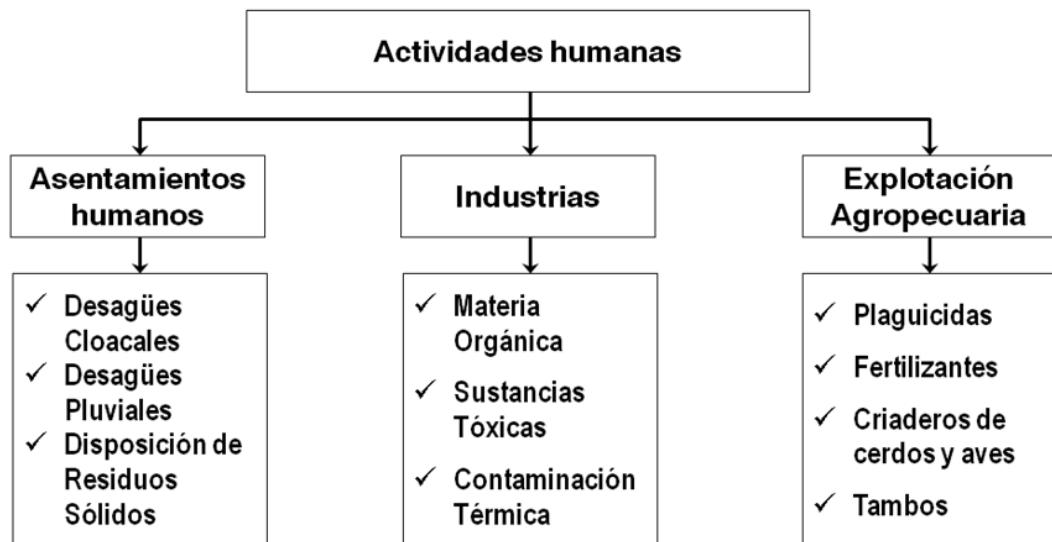


Figura 2. Causas de la contaminación por actividades del hombre

### 4. TIPOS DE CONTAMINACIÓN SEGÚN EL VERTIDO

Según la forma en que se vierte el contaminante puede considerarse dos tipos de contaminación:

i) Vertido puntual: se generan por descargas de efluentes cloacales (mediante red colectora) o industriales. Normalmente producen plumas claramente definidas y más concentradas, las cuales facilitan su identificación (y en algunos casos el control). Generan contaminación aguas abajo del vertido y puede producir alteraciones biota, reducción del oxígeno disuelto y aumento de la turbidez del curso que puede extenderse un porción limitada de su tramo, considerando de la capacidad de autodepuración del curso.

Vertido difuso: se generan por descargas de actividades agrícolas, urbanas y pueden ser por vía subterráneas (barrio de viviendas con sistemas estático de eliminación de efluentes cloacales) y atmosféricas. No generan plumas de contaminación del agua claramente

definidas. La contaminación se presenta sobre una extensa área y está en tránsito terrestre antes de alcanzar las aguas superficiales

## 5. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN

---

La contaminación de un recurso puede deberse por:

- Materia Orgánica
- Microorganismos
- Sustancias Tóxicas

Estos tipos de contaminación pueden generar alteraciones físicas, químicas y/o biológicas.

Los efectos físicos de la pueden ser por alteraciones en el color, olor, sabor, temperatura, salinidad, material en suspensión, formación de espuma del agua y radioactividad del agua.

Las alteraciones químicas pueden ser de origen inorgánico y orgánico. En la práctica se suelen relacionar las sustancias contaminantes por la industria que realizó el vertido. En general las sustancias orgánicas dan a las aguas un potencial reductor, debido a que son capaces de combinarse con el oxígeno para transformarse en CO<sub>2</sub>.

Las alteraciones biológicas suponen, por una parte, el aumento de la presencia de bacterias patógenas, virus, etc, capaces de producir enfermedades y por otra la ausencia de animales y plantas debido a no existir oxígeno disuelto necesario para la vida ([OD]>3mg/l) en el seno del agua. También el desarrollo intenso de algas por aumento la concentración de nitrógeno y fósforo

## 6. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR EL VERTIDO DE LÍQUIDOS CLOACALES

---

En la Tabla 1 se presentan los efectos de las aguas residuales (Jairo Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales).

**Tabla 1.** Efectos indeseables de las Aguas Residuales.

Contaminante	Efecto
Materia Orgánica Biodegradable	Desoxigenación del agua, muerte de peces, olores indeseables.
Materia Suspendida	Deposición en lechos de ríos, si es orgánica se descompone y flota; cubre el fondo e interfiere con la reproducción de peces o la modifica la cadena alimenticia.
Sustancias corrosivas, cianuro, metales, fenoles, etc.	Extinción de peces y vida acuática, interrupción de autodepuración
Microorganismos patógenos	Las aguas residuales domésticas pueden ser medios de transporte de organismos patógenos.
Sustancias que causan turbiedad, temperatura, color y olor	Incremento de temperatura afecta los peces; el color, olor y turbiedad hacen estéticamente inaceptable el agua para uso público
Sustancias o factores que se transforman el equilibrio biológico	Pueden causar crecimiento excesivo de hongos, causan olores.
Constituyentes minerales	Incrementan la dureza, incrementan [SDT], contribuyen a la eutrofificación

## 7. AUTODEPURACIÓN

---

La autodepuración es el restablecimiento del equilibrio en el medio acuático por mecanismos esencialmente naturales, después de las alteraciones inducidas por los afluientes contaminantes.

No existe una depuración absoluta, el curso de agua alcanza nuevamente un equilibrio pero en condiciones diferentes a las de antes del volcamiento por el incremento de ciertos productos y subproductos de la descomposición. Se puede decir que las actividades humanas dejan una huella en el agua que utilizan.

### 7.1. Mecanismos de autodepuración

---

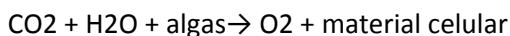
Cuando se libera materia orgánica biodegradable en una masa de agua, existente mecanismos que permiten la transformación de esta a sustancias más simples. Estos mecanismos son un conjunto de fenómenos biológicos, físicos y químicos y.

Como proceso biológico se puede citar el efecto que tienen los microorganismos, en especial las bacterias, que se alimentan de la materia orgánica descomponiéndola. Cuando

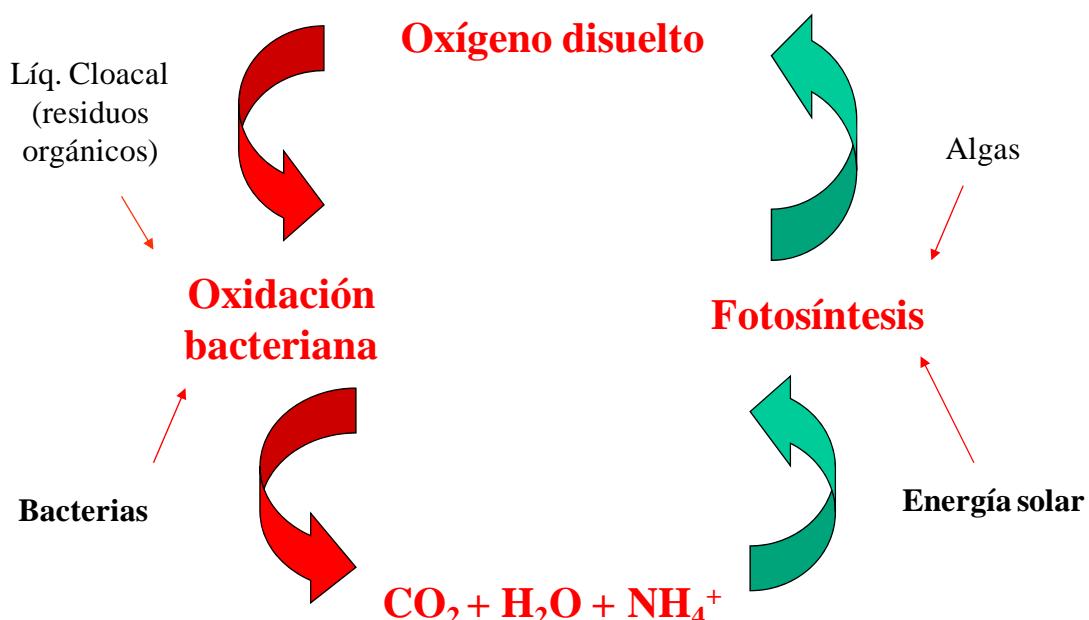
esta descomposición se realiza en un ambiente aerobio se da una descomposición que, en forma simplificada se refleja en la siguiente fórmula.



El dióxido de carbono producido, por la acción de las bacterias aerobias, es utilizado por algas y plantas acuáticas para realizar la fotosíntesis, tal lo indicado en forma simplificada en la siguiente fórmula.



Así, existe una relación simbiótica entre bacterias (aerobias) y algas, ya que las primeras proveen a las algas dióxido de carbono y fosforo soluble, en tanto que las algas entregan oxígeno a las bacterias (Figura 3).



**Figura 3.** Proceso biológico de autodepuración de cuerpos de agua

Uno de los procesos físicos que permite la autodepuración de los ríos es turbulencia generada por en el flujo del río y que permite su aireación y reoxigenación. Así es que algunos autores consideran que la tasa de reoxigenación esta en función de la velocidad del curso. Otros procesos físicos que pueden aumentar la capacidad autodepuradora de un río son las singularidades como cascadas o rápidos. A su vez la temperatura acelera el metabolismos de las bacterias y aumenta la dilución del oxígeno el agua.

Los mecanismos químicos por su parte intervienen en la demanda inmediata de oxígeno, dado que esta es la cantidad de oxígeno que sustancias reductoras, como la materia orgánica, presentes en un agua residual necesitan para descomponerse, sin la intervención de microorganismos.

## 8. CURVA DE OXIGENO DISUELTO EN CUERPOS DE AGUA

---

La concentración de oxígeno (OD), tan vital para el desarrollo de la biota acuática, luego del vertido de efluentes cloacales dependerá de dos aspectos:

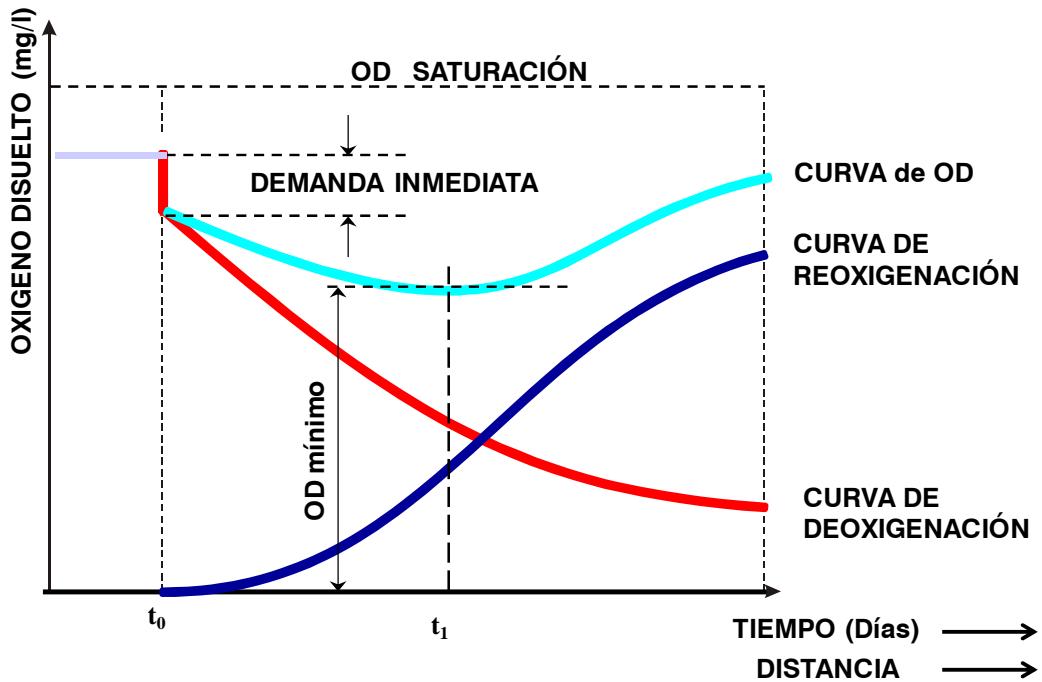
- Consumo de oxígeno por microorganismos durante la biodegradación de la materia orgánica
- Reoxigenación por aireado (efecto físico) y por exhalación de las algas (proceso biológico).

Del balance de la demanda y oferta de oxígeno surgirá el OD que variará con el tiempo luego del vertido. Si siempre hay OD el desarrollo de los microorganismos se realizará en “condiciones de aerobiosis” y se observará lo que se denomina Curva Colgante de Oxígeno Disuelto. Si en algún momento el OD fuera nulo los organismos se desarrollarán en “condiciones de anaerobiosis” y se observa lo que se denomina Curva de Oxígeno Disuelto en Condiciones Aneróbicas. En sendas condiciones pueden actuar organismos distintos con metabolismos disimiles.

### 8.1.Curva Colgante de Oxígeno Disuelto

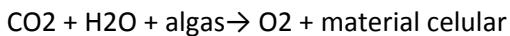
---

En la Figura 4 se puede observar la variación de la curva de OD a partir de un instante  $t_0$  donde se produce el vertido de líquidos cloacales. El consumo de Oxígeno y la reoxigenación son representados por las curvas de deoxigenación (color rojo) y reoxigenación (color azul), respectivamente. En este caso, puede observarse una disminución del OD hasta alcanzar un valor mínimo en el instante  $t_1$ .

**Figura 4.** Curva Colgante de Oxígeno Disuelto

Los mecanismos químicos por su parte intervienen en la demanda inmediata de oxígeno, dado que esta es la cantidad de oxígeno que sustancias reductoras, como la materia orgánica, presentes en un agua residual necesitan para descomponerse, sin la intervención de microorganismos. Uno de los elementos que requiere una demanda inmediata de oxígeno es el hierro en estado ferroso que, en contacto con el oxígeno disuelto en el agua, se convierten en sales férricas por oxidación y se precipitan en forma de hidróxido férrico. Esta precipitación es inmediata con un pH superior a 7,5. Otro elemento es el sulfuro.

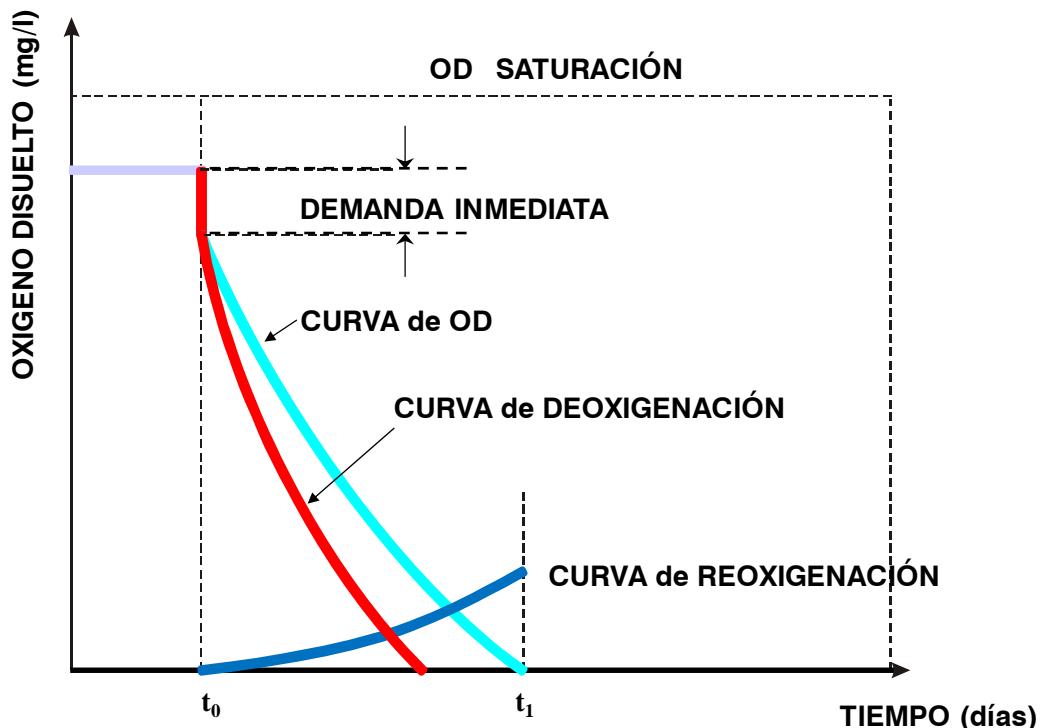
La presencia de oxígeno genera los procesos biológicos aerobios ya explicados que se resumen en las siguientes fórmulas:



De lo expuesto surge que el vertido de líquidos cloacales (aún tratados) contribuye a la generación de algas que conlleva el peligro de un bloom (un excesivo crecimiento) que tape el acceso de la luz a profundidades medias, generando la posterior mortandad de las mismas algas y su posterior descomposición. Así las algas muertas (que no exhalan Oxígeno) se transforman en materia orgánica a descomponer propiciando condiciones de anoxia.

## 8.2.Curva Colgante en Condiciones Anerobicas

El caso extremo de la contaminación es en el que el OD llega a cero, con lo que se crea una zona anaerobia. La descomposición continua a mucho menor velocidad por bacterias anaerobias, liberando gases nocivos como el acido sulfúrico y el amoníaco y metano. En la siguiente figura se indica la curva de OD para dicho caso.

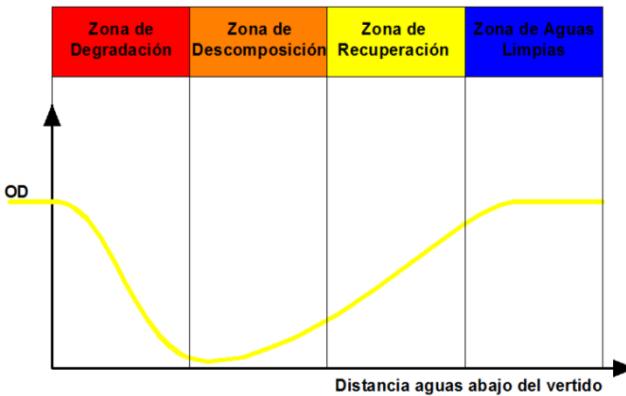


**Figura 5.** Curva Colgante de Oxígeno en condiciones anaeróbicas

## 9. ZONAS DE UN RÍO FRENTE AL VOLCAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Como puede observer en las Figuras 4 y 5 la reducción del OD tarda un tiempo  $t_1 - t_0$  hasta alcanzar sus valores críticos, es de decir, que en un río con una determinada velocidad las zonas más criticas (con menos OD y por tanto mas degradadas) no estarán en el punto de descarga sino una longitud determinada aguas abajo.

Siguiendo este criterio podemos establecer cuatro zonas en un río debido al vertido de líquidos cloacales, tal como puede observarse en la Figura 6.



**Figura 6.** Zonas de un río por el vertido de líquidos cloacales en función del OD.

Es decir, que si consideramos un río o arroyo que recibe descargas de efluentes cloacales sin tratar podremos encontrarnos con las zonas indicadas en la Figura 7.



**Figura 7.** Ilustración de las zonas de un río por el vertido de líquidos cloacales.

En virtud de su carencia de oxígeno y de la existencia o no condiciones de anoxia es posible describir las cuatro zonas tal lo indicado en la Tabla 2.

Zona de Degradación o Polisaprobia	Zona de Descomposición Activa o $\alpha$ Mesosaprobia	Zona de Recuperación Activa o $\beta$ Mesosaprobia	Zona de Aguas Limpias o Oligosaprobia
<p>Se inicia la descomposición de la Materia Orgánica.</p> <p>Aguas de aspecto Sucio</p> <p>Disminución del Oxígeno disuelto (Saturación = 40 a 45%).</p> <p>Aumenta el Número de bacterías y disminuye el número de peces y sus especies.</p> <p>Nº Bacterias = 1 a 10 millones/ml</p> <p>DBO =15 a 60 mg/l</p> <p>DQO = 50 a 15 mg/l</p> <p>Deposito de lodos negruzcos por presencia de sulfuro de hierro</p>	<p>Condiciones Sépticas</p> <p>Las aguas tienen color parduzco o negro y aparecen lodos flotantes.</p> <p>Olores desagradables debido al sulfuro de hidrógeno.</p> <p>Aumenta el Número de bacterías anaerobias y facultativas.</p> <p>Nº Bacterias = 0,1 a 1 millones/ml</p> <p>DBO =15 a 10 mg/l</p> <p>DQO = 20 a 50 mg/l</p> <p>Deposito de lodos verdes por la presencia de algas cianofíceas.</p>	<p>Va adquiriendo condiciones normales por la oxidación de materiales en la costa y acción fotosintética de los vegetales.</p> <p>Aguas más claras.</p> <p>Aumenta la concentración de oxígeno disuelto.</p> <p>Disminuye el número de bacterias. Gran número de microflora y microfauna</p> <p>Nº Bacterias &lt; 100 mil / ml</p> <p>DBO =15 a 10 mg/l</p> <p>DQO = 20 a 50 mg/l</p>	<p>Características casi similares a las iniciales.</p> <p>La fauna y la flora son abundantes y variadas</p> <p>Nº Bacterias &lt; 10 mil / ml</p> <p>DBO =2 a 4 mg/l</p> <p>DQO = 10 a 20 mg/l</p>