

ARTÍCULO

Determinación de la demanda de oxígeno en sedimentos de tres estaciones de la Ensenada de Tumaco

Determination of oxygen demand in sediments of three stations in the cove of Tumaco

Fecha recepción: 2010-01-25 / Fecha aceptación: 2010-11-03



CIOH
www.cioh.org.co

Tatiana Espinosa Montoya, tespino@unalmed.edu.co
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Antioquia.
Robinson Fidel Casanova R., rcasanova@dimar.mil.co
Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - Pacífico
Amanda Lucía Mora M., almora@unal.edu.co
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Antioquia.

RESUMEN

Este estudio presentan los resultados de la demanda de oxígeno en sedimentos (DOS), medidos en tres estaciones de la ensenada de Tumaco, expuestas a diferentes fuentes de contaminación, asociadas a las actividades propias de cada sector. La formulación matemática usada para determinar el consumo de oxígeno en el sedimento se rige por una cinética de orden cero, la cual permite obtener una constante biocinética para la DOS, en un sustrato determinado. La DOS corresponde a la demanda de oxígeno disuelto como resultado de la descomposición de la materia orgánica contenida en los sedimentos en un ecosistema acuático. Ésta juega un papel muy importante en el agotamiento del oxígeno disuelto cuando se realiza un balance de oxígeno para un ecosistema acuático. Los resultados obtenidos oscilaron entre 0.288 y 0.451 mg O₂/(m².día).

Palabras claves: Demanda de oxígeno, sedimento, materia orgánica, ecosistemas, cinética.

ABSTRACT

This study presents the results of sediment oxygen demand (SOD), measured at three stations in the Cove of Tumaco, exposed to different sources of pollution associated with the activities of each sector. The mathematical formulation used to determine oxygen consumption in the sediment is governed by zero - order kinetics, which allows to obtain a biokinetic constant for the SOD, on a determined substrate. The SOD corresponds to the dissolved oxygen demand as a result of the decomposition of organic matter in sediments in an aquatic ecosystem. SOD plays an important role in the exhaustion of dissolved oxygen when performing a balance of oxygen on an aquatic ecosystem. The results obtained were between 0,288 and 0,451 mg O₂/(m².día).

Key words: Oxygen demand, sediment, organic matter, ecosystems, kinetic.

INTRODUCTION

The cove of Tumaco corresponds to a complex estuarine ecosystem due to the interaction of processes of mixing fresh water and sea water, together with the tidal regime. It has identified three areas, each with distinct characteristics: the eastern zone, influenced by input from rivers (Curay, Colorado, Chagui, Tablones, Mejicano and Rosario), which introduce materials that are continually changing the morphological conditions as well as water quality conditions; the central zone, with oceanic influence, and the area adjacent to the islands of Tumaco and El Morro, which is characterized by a pronounced action of anthropogenic origin, as a result of lack of treatment systems for domestic and industrial wastewater which has damaged the areas surrounding the island of Tumaco, mainly. This environmental problem is further aggravated in the El Pindo sector where, besides the abovementioned factors, there are gas stations, generation of waste wood from sawmills and stilt houses, combined with morphology and bathymetry that is not favorable for proper water exchange. This has made the zone become one of the areas with most chronic pollution problems in the Colombian Pacific. At low tide, the cove has the typical smell of hydrogen sulfide release, and it is common to find dead fry, or agonizing fry with uncoordinated movements on the water surface, which is a clear symptom of hypoxia ($DO < 2.0$ mg/l).

The physical and chemical characteristics of water affect the bioavailability of nutrients and other substances which enter the aquatic environment, and in turn demand oxygen for processing and stabilization.

SOD is a combination of oxygen - consuming processes which occur just below the sediment - water interface. Part of the SOD is due to biological and other chemical processes. Most of the SOD on the surface of the sediment is due to biological decomposition of organic matter (OM), while SOD a few centimeters below the sediment surface is dominated by chemical oxidation of elements such as iron, manganese and sulfide [1] [2].

High demand for oxygen by biotic respiration in the water column and in sediment can cause anoxic conditions, which favor re-liberation of nutrients. These processes can affect water quality in the water - sediment interface, in two basic ways. Firstly, the dissolved oxy-

gen is consumed by aerobic respiration in the sediment layer and by oxidation of substances from deeper anaerobic layers. Secondly, re - liberation of nutrients can increase the biochemical oxygen demand and eventually promote the growth of biotic communities, affecting the quality of natural waters [1], [3], [4].

Benthic deposits tend to have a severe impact on the oxygen content in water bodies. In some places, they are accountable for 50% of the total loss of oxygen [5].

There are two techniques for the determination of SOD, either at the laboratory or in situ. Since there is no standardized methodology for their determination, each researcher makes their own adaptations, depending on their needs [6].

A simple methodology was used in this study for the determination of the SOD which would constitute a reference for future studies related to the dynamics of oxygen in any water quality models for the cove of Tumaco.

METHODOLOGY

Mud deposits and accumulated sludge in the bottom of the sea are composed of detrital material, solids and substances resulting from dissolution in water by biochemical processes which have accumulated for large periods of time with very slow currents; the latter have allowed sedimentation.

The marine ecosystem off the coast is a dynamic environment which presents a variety of sediments, according to the diversity of biological habitats, erosion processes and transport mechanisms which occur in a region. The rivers are the main source of lithogenic sediments derived from rocks and transported to the sea as a solid. Biogenic sediments are composed mainly of organic derivatives. In general, the nature of ocean sediments is not only determined by the source from which it derived, but there are also physical, chemical and biological processes controlling the nature of these deposits. On the coast, physical factors are related to the slope, shape and size of the beach, the speed and direction of currents, and wave energy reaching the edges [7]. Many activities have an impact on these coastal environments, especially those near urban areas and agricultural regions.

INTRODUCCIÓN

La ensenada de Tumaco corresponde a un ecosistema estuarino complejo, debido a la interacción de procesos de mezcla de agua dulce y oceánica, aunada al régimen mareal. En ella se tienen identificadas tres zonas, cada una con características bien definidas: la zona oriental influenciada por el aporte de ríos (Curay, Colorado, Chagüí, Tablones, Mejicano y Rosario), los cuales introducen materiales que cambian continuamente las condiciones morfológicas y la calidad del agua; la zona central de influencia oceánica, y la zona adyacente a las islas de Tumaco y El Morro que se caracteriza por una marcada acción de origen antropogénico, como consecuencia de la carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, que han deteriorado los sectores aledaños a la isla de Tumaco, principalmente. Esta problemática ambiental se ve más agravada en el sector de El Pindo, donde, además de los factores anteriores, se presentan expendios de combustibles, generación de residuos de madera de los aserríos y viviendas palafíticas, sumados a una morfología y batimetría que no favorece un buen intercambio de agua. Esto ha tornado a la zona en una de las áreas con mayores problemas de contaminación crónica en el Pacífico colombiano. En marea baja presenta el olor característico de la liberación de ácido sulfhídrico y es común encontrar alevinos muertos o en estado agonizante, con movimientos descoordinados sobre la superficie del agua, claro síntoma de hipoxia ($OD < 2,0$ mg/l).

Las características físicas y químicas del agua afectan la bio-disponibilidad de nutrientes y de otras sustancias, que al ingresar a los ambientes acuáticos, demandan a su vez oxígeno para su transformación y estabilización.

La DOS es una combinación de los procesos que consumen oxígeno y que ocurren justo debajo de la interfase agua-sedimento. Una parte de la DOS es debida a procesos biológicos y la otra a procesos químicos. La mayoría de la DOS en la superficie del sedimento se debe a la descomposición biológica de la materia orgánica (MO); mientras que la DOS algunos centímetros bajo la superficie del sedimento, es dominada por la oxidación química de elementos como el hierro, manganeso y sulfuro [1], [2].

Altas demandas de oxígeno por respiración biótica en la columna de agua y en los sedimentos pueden generar condiciones anóxicas, las cuales favorecen la liberación de nutrientes. Estos procesos pueden afectar la calidad del agua en la interfase agua-sedimento, de dos formas básicas; en primer lugar, el oxígeno disuelto

es consumido por la respiración en la capa aeróbica del sedimento y por la oxidación de sustancias provenientes de capas anaeróbicas más profundas, y, en segundo lugar, la liberación de nutrientes puede aumentar la demanda bioquímica de oxígeno y favorecer eventualmente el crecimiento de comunidades bióticas, afectando la calidad de las aguas naturales [3], [4].

Los depósitos béticos tienden a ejercer un severo impacto en el contenido de oxígeno en los cuerpos de agua; en ciertos sitios, son los responsables del 50 % de la disminución total de oxígeno [5].

Existen dos técnicas para la determinación de la DOS: en laboratorio o *in situ*. Dado que no existe una metodología estandarizada para su determinación, cada investigador hace sus propias adaptaciones, dependiendo de sus necesidades [6].

En este estudio se aplicó una metodología sencilla para la determinación de la DOS la cual se constituiría en una referencia para futuros estudios afines con la dinámica del oxígeno, en posibles modelos de calidad del agua para la ensenada de Tumaco.

METODOLOGÍA

Los depósitos de lodos y fangos acumulados en el fondo del mar están compuestos de material detrítico, sólidos y de sustancias producto de la disolución en el agua por procesos bioquímicos que se han acumulado en grandes períodos, durante los cuales las corrientes fueron muy lentas, permitiendo su sedimentación.

El ecosistema marino cerca de la costa es un ambiente dinámico, que presenta una gran variedad de sedimentos, de acuerdo con la diversidad de hábitats biológicos, procesos de erosión y mecanismos de transporte que se dan en una región. Los ríos son la fuente principal de los sedimentos litógenos derivados de rocas y transportados al mar como material sólido. Los sedimentos biógenos están compuestos principalmente de derivados de organismos. En general, el carácter de los sedimentos oceánicos no se determina sólo por la fuente de la que se derivan, sino que también existen factores físicos, químicos y biológicos que controlan la naturaleza de estos depósitos. En la costa, los factores físicos se relacionan con la pendiente, la forma y el tamaño de la playa; la velocidad y la dirección de las corrientes, y la energía de las olas que alcanzan sus bordes [7]. Muchas actividades afectan estos ambientes costeros,

In the oceans, pollutants may be in the water column in solution or adsorbed onto solid particles. Many contaminants which compromise the marine environment have low water solubility and high affinity for particles; thus they can sediment. Sediments can act as carriers of pollutants adsorbed and released into the water column due to changes in environmental conditions such as pH, temperature, redox potential, presence of organic colloids, and other factors.

When water contains high amounts of organic matter, it leads to a minimum of dissolved oxygen, due to high demand for it, and can lead to anaerobic conditions in the marine sediment. Under these conditions, organic carbon will remain in place for a longer period of time, because the anaerobic bacteria (sulfur-reducing bacteria) are less efficient in destroying organic matter than bacteria which use free oxygen [8]. The preservation of organic carbon (Cor) in sediments is related to sedimentation rate, depending on the content of oxygen. In oxic conditions, there is a direct relationship between preservation and sedimentation, whereas said relationship does not exist under anoxic conditions and there is always high preservation of organic matter [9].

The processes of benthic oxygen demand affect water quality through the column in two ways, basically: (i) Dissolved oxygen is removed from the overlying water by bacterial respiration on the fresh sludge aerobic bed. (ii) In the underlying layers of mud there is anaerobic respiration, which has reduced organic matter as a sub-product, as well as some minerals which can be transported by diffusion into the water column and thus become additional oxygen-demanding entities.

Deeper benthic deposits release organic matter and nutrients to the overlying water by the action of anaerobic bacteria which use organic compounds as an energy source. The release of chemicals increases the biochemical oxygen demand (BOD) in water and results in additional oxygen consumption.

Effect of SOD on water quality. The decrease in the levels of dissolved oxygen in a water body can be caused both by anthropogenic discharges, which have long-term effects, even after being discharged, as well as by processes of resuspension of sediments due to flow velocity, which can cause imbalance in the environmental conditions of the sediment-water interface due to the release of substances such as iron, manganese and mercury, inter alia.

The direct effect of SOD in the water body may be sized from the oxygen balance equation in the stream, which includes combined processes of deoxygenating and reaeration. Pesson [10] proposes the following equation for this balance:

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - KD \quad (1)$$

Where:

$dD / dt =$	oxygen deficit rate over time.
$K_1 =$	deoxygenation constant.
$K =$	reaeration constant.
$L =$	biological oxygen demand (BOD).
$D =$	oxygen deficit (difference between the saturation concentration and the actual concentration of dissolved oxygen in the natural system).

The above equation has been modified so as to introduce factors that indicate the processes that contribute and demand oxygen in a current. Among the contributing processes the following can be included: reaeration due to ocean-atmosphere exchange, the O₂ produced during photosynthesis, contact with another body of water with higher oxygen concentration, photosynthesis and the removal of BOD by sedimentation. Among the demanding processes the following can be included: deoxygenation due to point and nonpoint pollution sources (oxidation of organic matter, oxidation of nitrogenous organic matter, inter alia), respiration of organisms and sediment oxygen demand. The oxygen balance equation for these systems reads as follows [3]:

$$OD = K_a (C_s - C) + F - L (K_d + K_s) - K_n L_n - L_d - SOD - R$$

Where,

$OD =$	concentration of dissolved oxygen in the water column.
$K_a(C_s - C) =$	oxygen supply rate by reaeration. (2)
$F =$	rate of oxygen through photosynthesis.
$L(K_d + K_s) =$	oxygen consumption by deoxygenation and sedimentation.

especialmente aquellos que están cerca de áreas urbanas y de regiones agrícolas.

En los océanos, los contaminantes pueden estar en la columna de agua en disolución o adsorbidos en partículas sólidas. Muchos contaminantes que interesan en el medio marino tienen una baja solubilidad en agua y una alta afinidad por partículas, de esta forma pueden sedimentarse. Los sedimentos pueden actuar como portadores de contaminantes adsorbidos y liberarse a la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales, tales como: pH, temperatura, potencial redox, presencia de coloides orgánicos, entre otros factores.

Cuando el agua posee altas cantidades de materia orgánica conlleva a un mínimo de oxígeno disuelto, debido a la alta demanda de éste, y puede generar condiciones anaeróbicas en el sedimento marino. Bajo estas condiciones, el carbono orgánico se mantendrá en el sitio durante un mayor tiempo, debido a que las bacterias anaeróbicas (sulfo reductoras) son menos eficientes para destruir materia orgánica que las bacterias que usan oxígeno libre [8]. La preservación de carbono orgánico (C_{or}) en los sedimentos está relacionada con la tasa de sedimentación, dependiendo del contenido de oxígeno. En condiciones óxicas existe una relación directa entre preservación y sedimentación, mientras que en condiciones anóxicas esta relación no existe y siempre se presenta una alta preservación de materia orgánica [9].

Los procesos de demanda béntica de oxígeno pueden afectar la calidad del agua a través de la columna de dos formas, básicamente: (i) El oxígeno disuelto es removido del agua sobrenadante por respiración bacteriana, en el lecho aeróbico de lodos frescos. (ii) En las capas subyacentes de lodo se presenta una respiración anaeróbica, que tiene como subproducto materia orgánica reducida y algunos minerales que pueden transportarse por difusión hacia la columna de agua y ser demandantes adicionales de oxígeno.

Los depósitos bénticos más profundos liberan sustancias orgánicas y nutrientes al agua sobrenadante, por acción de las bacterias anaeróbicas que utilizan compuestos orgánicos como fuente de energía. La liberación de sustancias aumenta la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el agua y ocasiona un consumo de oxígeno adicional.

Efecto de la DOS sobre la calidad del agua. La disminución del contenido de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua puede originarse tanto por descargas

antrópicas, que tienen un efecto a largo plazo, aún después de ser descargadas, como también por procesos de resuspensión de sedimentos debido a la velocidad del flujo, los cuales pueden ocasionar desequilibrio en las condiciones ambientales de la interfase agua-sedimento, por la liberación de sustancias, tales como hierro, manganeso y mercurio, entre otras.

El efecto directo de la DOS en el cuerpo de agua puede dimensionarse a partir de la ecuación de balance de oxígeno en la corriente, la cual incluye procesos combinados de desoxigenación y reaeración. Pesson, propone para este balance [10] la siguiente ecuación:

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - KD \quad (1)$$

Donde,

$dD/dt =$	tasa de déficit de oxígeno a través del tiempo.
$K_1 =$	constante de desoxigenación.
$K =$	constante de reaeración.
$L =$	demanda biológica de oxígeno (DBO).
$D =$	déficit de oxígeno (diferencia entre la concentración de saturación y la concentración real de oxígeno disuelto en el sistema natural).

La ecuación anterior ha sido modificada con el fin de introducir factores que indiquen los procesos que aportan y demandan oxígeno en una corriente. Entre los procesos aportantes están la reaeración debida al intercambio océano-atmósfera, el O_2 producido durante la fotosíntesis, el contacto con otra masa de agua con mayor concentración de oxígeno, la fotosíntesis y la remoción de DBO por sedimentación. Entre los procesos demandantes se encuentra la desoxigenación debida a fuentes de contaminación puntuales y no puntuales (oxidación de la materia orgánica, oxidación de la materia orgánica nitrogenada, entre otros), la respiración de organismos y la demanda de oxígeno en sedimentos. La ecuación del balance de oxígeno para este tipo de sistemas expresa lo siguiente [3]:

$$OD = K_a(C_s - C) + F - L(K_d + K_s) - K_n L_n - L_d - DOS - R \quad (2)$$

Donde,

$OD =$	concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua.
--------	--

$K_n L_n$	=	oxygen consumption by nitrogenous organic matter.
DOS	=	sediment oxygen demand.
R	=	rate of oxygen consumption by respiration.
L_d	=	rate of BOD addition due to point and nonpoint pollution sources.

From equation (2) it can be concluded that SOD is highly relevant in the oxygen balance of any body of water, since it is a demanding component whose increase in value entails a decrease of dissolved oxygen in the water.

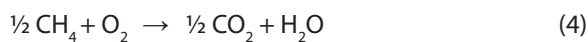
Organic matter mineralization and SOD. The sediment oxygen demand allows to indirectly quantify the amount of organic matter, due to the fact that the value of this variable may be influenced both by the quantity and quality of organic matter, and the activity of microorganisms. This leads the O_2 consumption rate to constitute a good indicator of the organic matter present in the aquatic ecosystem.

The contribution of particulate organic matter in the sediments of the cove of Tumaco is influenced by factors such as organic production, fresh water inflow, industrial waste and human activity.

Mud deposits which cause oxygen demand by decomposing benthic sediments generally lead to stabilization of volatile solids. A more rigorous approach to the functioning of the sediment divides them into two layers: an upper aerobic layer in the upper part and an anaerobic layer at the bottom. Carbon and nitrogen are decomposed in both areas in order to produce oxygen demand in the sediment (SOD) [1]. Under anaerobic conditions, organic matter creates methane, according to the following reaction:



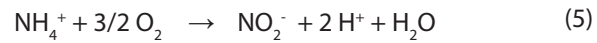
Which is released into the aerobic zone, where it can be oxidized, creating thereby a demand for oxygen from the sediment.



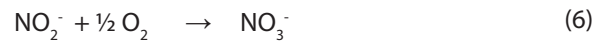
If the organic matter content is very high, the methane produced can escape as bubbles. This loss of carbon is not reflected in increased oxygen demand.

Another possible effect is the mineralization of orga-

nic nitrogen to ammonium in the sediment. This ammonium can go to the upper aerobic layer, which can be transformed into nitrate (nitrification) by bacteria of the *Nitrosomonas* and *Nitrobacter* genii, resulting in oxygen consumption.



Whereas bacteria of the genus act on the nitrite:



If nitrates were the final product, oxygen consumption would be 4.57 g O_2 per gram of oxidized N (3.12 g in the first phase and 1.14 g in the second phase). But if the oxygen concentration is very low, the process can continue towards the formation of N_2 gas (denitrification), resulting in lower oxygen consumption [1].

The most common method to measure SOD in the laboratory is the use of a device that works as a batch reactor (where there is neither input nor output), which includes a given amount of sediment, with a given volume of water, and thus reduction of oxygen during a period of time is measured. Determination of SOD in the field requires understanding and controlling a large number of variables, for example, increasing the surface area of sediment allows the integration of micro-aggregates, while reducing the height of the chamber allows greater sensitivity to low metabolic rates [1].

SOD values reported in the literature. The values recorded in the literature for SOD vary greatly amongst different types of water systems (marine, estuarine or freshwater systems).

Typical SOD values at 20°C for coastal areas range between 0,1g O_2/m^2 / Day for sandy sediments at 10 g O_2/m^2 / Day for sediments with high OM content, according to Utley, *et al* [1].

SOD values have also been reported depending on the type of sediment. For example, a range has been recorded for mineral soils between 0,05 and 0,1 g. O_2/m^2 / day [2]; for sandy sediments there is a range between 0,2 and 1,0 g. O_2/m^2 / day for sediment coming from fresh household waste; the range for oxygen demand is 2,0 to 10,0g. $O_2/m^2/day$; for sediment originated in old household waste, the range is between 1,0 to 2,0 g. $O_2/m^2/day$, and for cellulose fiber composites the demand is between 4,0 g. $O_2/m^2/day$ and 10 g. $O_2/m^2/day$ [11].

$K_a(C_s - C)$	=	tasa de suministro de oxígeno por reaeración.
F	=	tasa de suministro de oxígeno por fotosíntesis.
$L(K_d + K_s)$	=	consumo de oxígeno por desoxigenación y sedimentación.
$K_n L_n$	=	consumo de oxígeno por materia orgánica nitrogenada.
DOS	=	demanda de oxígeno en sedimentos.
R	=	tasa de consumo de oxígeno por respiración.
L_d	=	tasa de adición por DBO debida a fuentes de contaminación puntuales y no puntuales.

De la ecuación (2) se deduce la importancia de la DOS en el balance de oxígeno de cualquier cuerpo de agua, ya que es un componente demandante que al incrementar su valor implica una disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua.

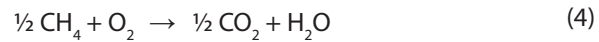
Materia orgánica, mineralización y DOS. La demanda de oxígeno del sedimento permite cuantificar indirectamente la cantidad de materia orgánica, debido a que el valor de esta variable puede estar influenciada tanto por la cantidad y calidad de materia orgánica, como por la actividad de microorganismos; conllevando a que la tasa de consumo de O_2 sea un buen indicador de la materia orgánica presente en el ecosistema acuático.

El aporte de materia orgánica particulada a los sedimentos de la ensenada de Tumaco está influenciado por factores como: la producción biológica, el aporte fluvial, los desechos industriales y la actividad antrópica.

Los depósitos de lodo que provocan demanda de oxígeno por descomposición béntica de sedimentos, generalmente conducen a la estabilización de sólidos volátiles. Una aproximación más rigurosa al funcionamiento de los sedimentos divide a éstos en dos capas: una aerobia en la parte superior y otra anaerobia en la parte inferior. En ambas zonas el carbono y el nitrógeno se descomponen produciendo una demanda de oxígeno en el sedimento [1]. En condiciones anaeróbicas la materia orgánica origina metano, de acuerdo con la siguiente reacción:

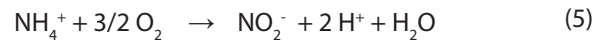


El cual es difundido hacia la zona aerobia, donde puede ser oxidado, originando una demanda de oxígeno desde el sedimento.

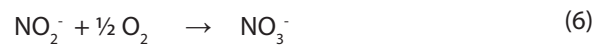


Si el contenido de materia orgánica es muy alto, el metano producido puede escapar en forma de burbujas. Esta pérdida de carbono no se reflejará en un aumento de la demanda de oxígeno.

Otro posible efecto es la mineralización del nitrógeno orgánico a amonio en el sedimento. Este amonio puede pasar a la capa superior aerobia, donde puede transformarse en nitratos (nitrificación), mediante las bacterias del género *nitrosomas* y *nitrobacter*, con el consiguiente consumo de oxígeno.



Mientras que bacterias del género actúan sobre los nitritos:



Si los nitratos fueran el producto final, el consumo de oxígeno sería de 4.57 g de O_2 por cada gramo de N oxidado (3.12 g en la primera fase y 1.14 g en la segunda). Pero, si la concentración de oxígeno es muy baja, el proceso puede seguir hacia la formación de N_2 gaseoso (desnitrificación), provocando un menor consumo de oxígeno [1].

El método más común para medir la DOS en laboratorio es la utilización de un dispositivo que funcione como un reactor *batch* (donde no hay entradas ni salidas), que incluye una cantidad dada de sedimento, con un volumen determinado de agua, y así medir la reducción de oxígeno durante un período de tiempo. La determinación de la DOS en el campo requiere entender y controlar un gran número de variables, por ejemplo: incrementar el área superficial del sedimento permite la integración de agregados de microorganismos, mientras que disminuir la altura de la cámara permite una mayor sensibilidad a las tasas metabólicas bajas [1].

Valores de DOS registrados en la literatura. Los valores registrados por la literatura para DOS varían mucho entre los distintos tipos de sistemas de agua (marinos, estuarinos o sistemas de agua dulce).

Los valores típicos de DOS a 20 °C para zonas costeras se encuentran en el rango de 0.1 g $O_2/m^2 \cdot día$ para sedimentos arenosos a 10 g $O_2/m^2 \cdot día$ para sedimentos con un alto contenido de MO según Utley, et al [1].

Stations Selection and Sampling Methodology

Three sampling points were established taking into account the physicochemical characteristics of the waters of the cove of Tumaco [12] (figure 1). Most of these points present characteristics of areas with apparently high content of organic matter as a result of discharges of domestic and industrial wastewater. These points are: (1) Puente el Pindo, where wastewater and

industrial waste from sawmills located in the area are dumped, (2) Muelle de Guardacostas (Coastguard Pier), an area where there are indirect discharges of pollutants associated with fuel from the Port Society of Tumaco Dock and wastewater from the Exporcol sector, mainly; (3) Playa del Morro, an area with less direct flow of pollutants. However, there are agglomerations of a variety of waste coming through the currents which may change conditions at any given time.

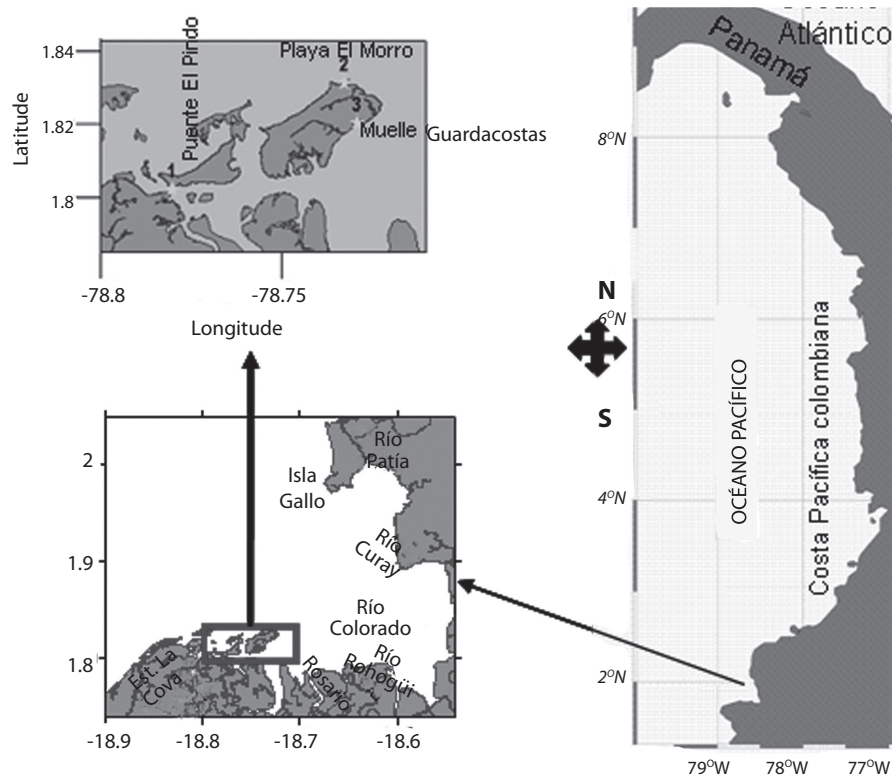


Figure 1. Location of the study area to determine the SOD of the cove of Tumaco.

Sediment samples were taken at low tide, about 30 cm average water depth, sediment was extracted using a PVC pipe. The collected seawater was taken with a Niskin bottle on the surface of water at the site where the sediment was removed.

The water was transferred to a plastic container and were transported, along with the columns of sediment in the tubes, to the laboratory where sea water was immediately aerated until saturated with oxygen. The se-

diment column was subsequently moved from the PVC pipe to the respirometric chamber.

Setting up the experiment. Rabouille *et al* [2], showed, through a study of variance, no significant differences between the mean measurements obtained for SOD in situ and in the laboratory when tests were performed with fine - grained sediments [2]. For this reason and for ease - related reasons, it was decided to make the determinations in the laboratory. Following

También se han reportado valores de DOS dependiendo del tipo de sedimento. Por ejemplo, para suelos minerales se ha registrado un rango de 0.05 hasta 0.1 $\text{g.O}_2/\text{m}^2 \text{ día}$ [2]; para sedimentos arenosos se presenta un rango entre 0.2 y 1.0 $\text{g.O}_2/\text{m}^2 \text{ día}$; para sedimentos provenientes de desechos domésticos frescos, el rango para la demanda de oxígeno es de 2.0 a 10.0 $\text{g.O}_2/\text{m}^2 \text{ día}$; para sedimentos provenientes de desechos domésticos viejos se encuentra entre 1.0 a 2.0 $\text{g.O}_2/\text{m}^2 \text{ día}$, y para los compuestos de fibra celulósica la demanda está entre 4.0 $\text{g O}_2/\text{m}^2 \text{ día}$ y 10 $\text{g O}_2/\text{m}^2 \text{ día}$ [11].

Selección de Estaciones y Metodología de Muestreo

Teniendo en cuenta las características fisicoquímicas de las aguas de la ensenada de Tumaco [12] se estable-

cieron tres puntos de muestreo (figura 1). Estos puntos, en su mayoría, presentan características de zonas con aparentemente alto contenido de materia orgánica como consecuencia de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales. Dichos puntos son: (1) Puente El Pindo, donde se vierten aguas residuales domésticas y desechos de la industria de aserríos ubicados en el sector; (2) Muelle de Guardacostas, zona donde se presentan vertimientos indirectos de contaminantes asociados a combustibles provenientes del Muelle de la Sociedad Portuaria de Tumaco y aguas residuales del OS de la Ensenada de Tumaco. sector Exporcol, principalmente; (3) la Playa del Morro, zona con menos afluencia directa de contaminantes. Sin embargo, se presentan aglomeraciones de una variedad de residuos que llegan a través de las corrientes y pueden alterar las condiciones en un momento dado.

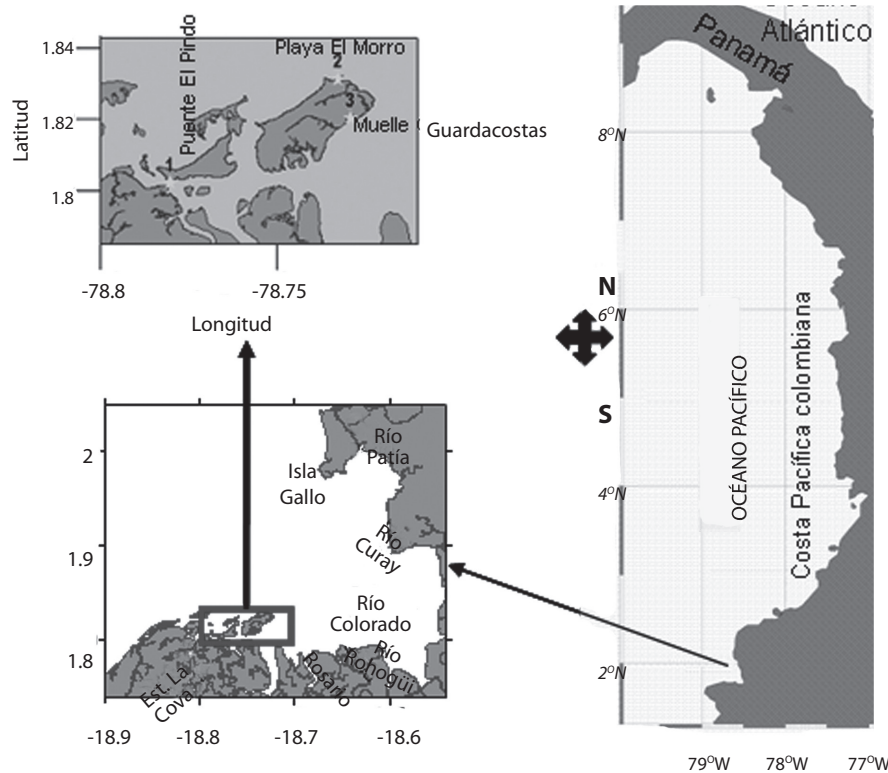


Figura 1. Ubicación del área de estudio para determinar la DOS de la Ensenada de Tumaco.

Las muestras de sedimentos fueron tomadas en marea baja, a unos 30 cm de profundidad media del agua, el sedimento fue extraído mediante un tubo de PVC. El agua de mar recolectada fue tomada con botella Niskin en la superficie del agua, en el sitio donde se sacó el sedimento.

El agua se traspasó a un bidón plástico y junto con las columnas de sedimento en los tubos fueron transportadas al laboratorio, donde inmediatamente se aereó el agua de mar hasta saturarla de oxígeno y se procedió a traspasar la columna de sedimento del tubo de PVC a la cámara respirométrica.

the recommendations of Utley et al [1], measurements were made in sediment cores 13 cm in height, with a surface area of contact with water of 9.62 cm².

A circular laboratory respirometric chamber was used in this study for the determination of sediment oxygen demand, consisting of a 3,5 diameter and 40 cm length tube, equipped with an OxiCal Schott 9009/6 (A65312906) oxygen sensor, and a WTW - 340i/Set Multiparameter, arranged in such a manner that it would be in contact with seawater during the whole time of the analysis. Holes were pierced on the sides of the tube so as to allow water recirculation by means of a Unicam - VP90 peristaltic pump to maintain the water column uniform (figure 2).

The aeration process is carried out by means of an Atlantis b1500 model pump. Having once finished the aeration process, the sea water was slowly introduced into the camera, letting slip over the walls so as to avoid disturbance of the sediment. Upon completely filling the chamber with water, it is then sealed. The first DO, temperature and time readings are recorded within the next 2 minutes. The samples are continuously monitored for 12 hours, taking records of the concentration of dissolved oxygen in the water every hour.

In order to discount the oxygen consumption that occurs in the water column from readings taken, the same process was carried out for the three sampling points with no - sediment seawater, taken in the sampling area at the same time the sediments were collected, to be used as a target and thus calculate the sediment oxygen demand (SOD).

Having once collected the data, a linear regression was performed between the dissolved oxygen readings taken and the time during monitoring (see figures 3, 4 and 5), thus obtaining the slope of the straight line which represents the oxygen consumption rate for the sediments. The benthic demand (SOD) was calculated from the volume of overlying water and sediment surface, by means of the following expression:

$$DOS_T = \left(\left. \frac{-dCO_2}{d} \right|_{H_2O+sed} - \left. \frac{-dCO_2}{d} \right|_{H_2O} \right) * \frac{V}{A} \quad (7)$$

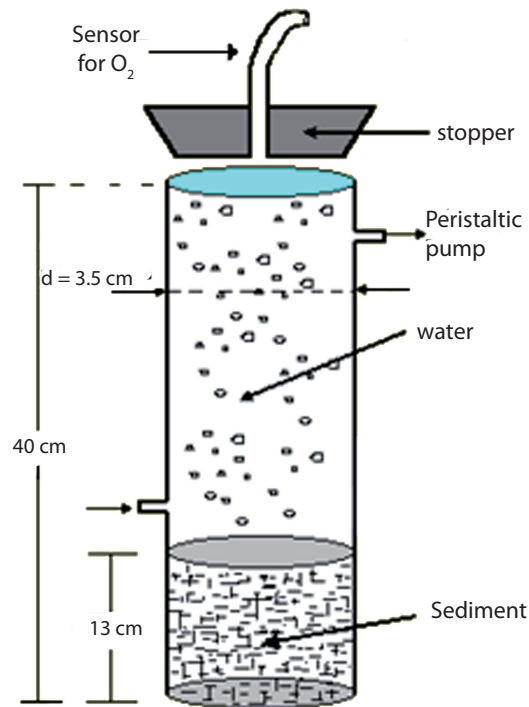


Figure 2. Mounting laboratory for the determination of sediment oxygen demand (SOD).

Where:

- DOS_T : Is the rate of oxygen demand (mg / m² * h) at a T temperature.
- V : Is the volume in liters of the sea water column above the sediment layer.
- A : Is the area covered by the sediment.
- dCO_2/dt : Represents the slope of exhaustion of oxygen in mg / l*h of the seawater with sediment and sea water alone which was used as a target.

As mentioned above, the water temperature has a major influence on the reaction kinetics involved in the sediment oxygen consumption. Therefore, it is necessary to standardize the results at the same temperature, which is generally 20°C. This is accomplished by using the Arrhenius equation:

Montaje del experimento. Rabouille et al [2], a través de un estudio de varianza, mostraron que no existen diferencias significativas entre los promedios obtenidos para las mediciones de la DOS *in situ* y en laboratorio cuando se realizaron ensayos con sedimentos de grano fino [2]. Por esta razón y por facilidad se optó por realizar las determinaciones en laboratorio. Siguiendo las recomendaciones de Utley *et al* [1], las mediciones se hicieron en núcleos de sedimento de 13 cm de alto, con un área superficial de contacto con el agua de 9.62 cm².

En este estudio se utilizó una cámara respirométrica de laboratorio de forma circular para la determinación de la demanda de oxígeno en el sedimento, consistente en un tubo de 3.5 y 40 cm de diámetro y longitud, respectivamente; equipada con un sensor de oxígeno Oxical, Schott 9009/6 (A65312906) de un Multiparámetro WTW-Multi 340i/Set, dispuesto de tal forma que durante todo el tiempo de análisis estuviera en contacto con el agua de mar. Al tubo se le hicieron perforaciones laterales para permitir la recirculación del agua por medio de una bomba peristáltica Unicam-VP90 para mantener homogénea la columna de agua (figura 2).

Terminado el proceso de aeración, realizado por medio de una bomba Atlantis modelo B1500, el agua de mar fue introducida lentamente a la cámara dejándose deslizar sobre sus paredes para evitar la perturbación del sedimento. Al llenar completamente la cámara con

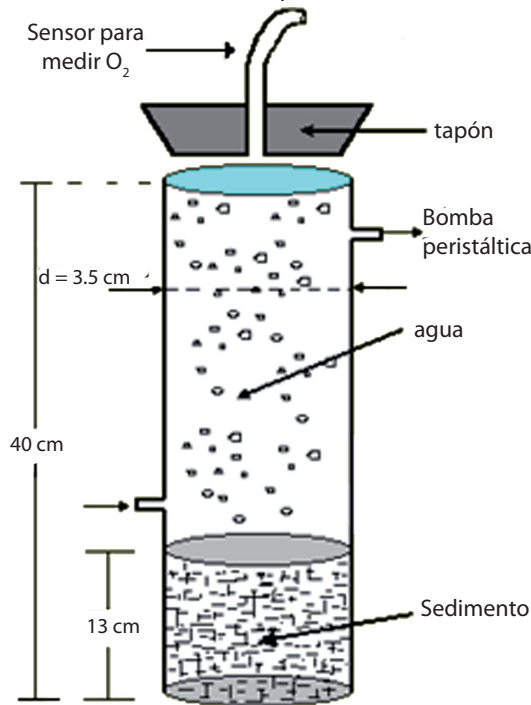


Figura 2. Montaje de laboratorio para la determinación de la demanda de oxígeno por sedimento (DOS).

el agua se procedió a sellarla, transcurridos 2 minutos se registraron las primeras lecturas de OD, temperatura y tiempo. Las muestras fueron monitoreadas continuamente por 12 horas, tomando registros de la concentración de oxígeno disuelto en el agua cada hora.

Para descontar el consumo de oxígeno que se presenta en la columna de agua de las lecturas tomadas, se realizó el mismo proceso para los tres puntos de muestreo con agua de mar sin sedimentos, tomada en la zona de muestreo al mismo tiempo que fueron colectados los sedimentos, para ser usada como blanco y de esta forma calcular la demanda de oxígeno del sedimento.

Una vez obtenidos los datos, se realizó una regresión lineal entre las lecturas tomadas de oxígeno disuelto y el tiempo transcurrido durante el monitoreo (Ver figuras 3, 4 y 5), obteniendo así la pendiente de la línea recta la cual representa la velocidad de consumo de oxígeno por sedimentos. A partir del volumen de agua sobrenadante y el área superficial de sedimento se calculó la demanda béntica (DOS), mediante la siguiente expresión:

$$DOS_T = \left(\left. \frac{-dCO_2}{dt} \right|_{H_2O+sed} - \left. \frac{-dCO_2}{dt} \right|_{H_2O} \right) * \frac{V}{A} \quad (7)$$

Donde,

DOS_T : es la tasa de demanda de oxígeno, en (mg/m²*h) a una temperatura T.

V : es el volumen en litros de la columna de agua de mar por encima de la capa de sedimento.

A : es el área cubierta por el sedimento.

dCO_2/dt : representa la pendiente de la curva de agotamiento del oxígeno en mg/l*h del agua de mar con sedimento, y del agua de mar sola que se utilizó como blanco.

Como se mencionó anteriormente, la temperatura del agua presenta gran influencia en la cinética de la reacción involucrada en el consumo de oxígeno en sedimentos, por lo tanto se hace necesario estandarizar los resultados a una misma temperatura que generalmente es 20°C. Ello se logra empleando la ecuación de Arrhenius:

$$DOS_T = DOS_{20} * \theta^{(T-20)} \quad (8)$$

$$DOST = DOS_{20} * \theta(T-20) \tag{8}$$

Where:

T : Is the temperature in degrees Celsius.

DOS_{20} : is the consumption rate at 20 ° C.

θ : is a coefficient which varies depending on the system under study ($\theta = 1,047$) [1], which has been selected as appropriate for a coastal system as the cove of Tumaco.

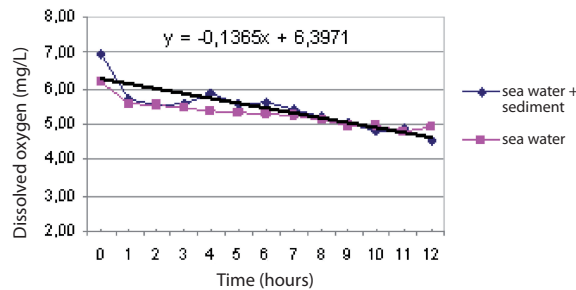


Figure 3. Oxygen exhaustion curve in sediments of Muelle de Guardacostas (Tumaco, May 2009).

RESULTS AND DISCUSSION

With the data obtained, oxygen exhaustion was plotted over time for each sample obtained from the respective sampling point, in the two test matrices: water and sediment and seawater. Figure 3 shows the behavior observed for the testing conducted on the sample collected in Muelle de Guardacostas.

The oxygen dissolved in the testing conducted on the mixture of water and sediment decreased by 246 mgO_2/l throughout the monitoring period; the slope of the linear regression for the matrix of sea water and sediment was $-0.1365 \text{ } mgO_2/l \cdot h$. Similarly, seawater showed oxygen consumption equivalent to 0,97 mgO_2/l , and the regression slope was $-0,0970 \text{ } mgO_2/l$. Thus, net decrease was observed in sediments equivalent to 1,25 mgO_2/l .

Oxygen reduction was higher in the monitored area of Puente El Pindo, comparing the results obtained (figure 4) for the two tests conducted. The testing conduc-

ted on sediment and water showed that oxygen changed in 2,22 mgO_2/l ; whereas seawater alone decreased by 0,97 mgO_2/l for the 12 – hour monitoring period, generating slopes of $-0,182 \text{ } mgO_2/l \cdot h$ and $-0,097 \text{ } mgO_2/l \cdot h$, respectively. Thus, the net decrease in sediment was 1,25 $mgO_2/l \cdot h$.

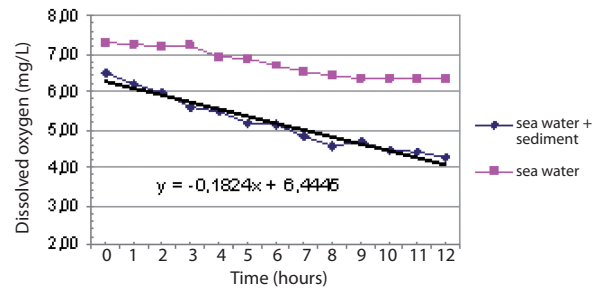


Figure 4. Oxygen exhaustion curve in sediments of Puente El Pindo. Tumaco. May 2009.

The three first monitoring hours were disregarded when calculating SOD at the El Morro beach, because at the beginning of the test there was a period of instability and the slope that yields SOD is to be calculated at the points where the oxygen consumption is stable [1], [13].

Finally, oxygen reduction for this sample in sediment was equivalent to 1,08 mgO_2/l , whereas the water sample had a result equivalent to 0,32 mgO_2/l , implying thus a net decrease of the sediments in 0,754 mgO_2/l . This fact is reflected in the slopes obtained, which were $-0,1149 \text{ } mgO_2/l$ and $-0,0514 \text{ } mgO_2/l$, respectively (figure 5).

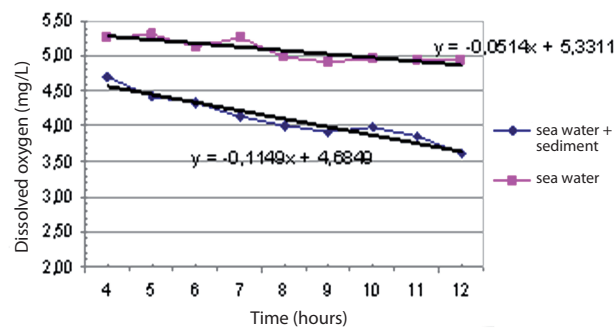


Figure 5. Oxygen exhaustion curve in sediments of the El Morro beach (Tumaco, May 2009).

The oxygen consumption rate was calculated with the slopes obtained for each curve of the graphs in the

Donde,

T : es la temperatura en grados centígrados.

DOS₂₀ : es la tasa de consumo a 20 °C.

θ : es un coeficiente que varía dependiendo del sistema de estudio ($\theta = 1.047$) [1], el cual se ha seleccionado como apropiado para un sistema costero como la ensenada de Tumaco.

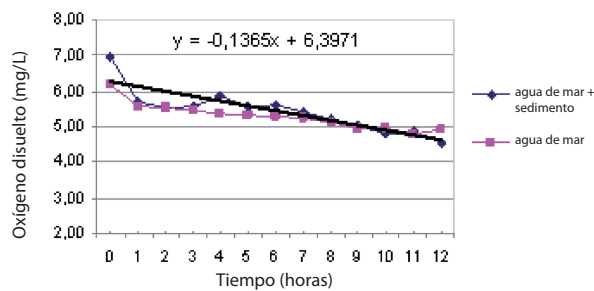


Figura 3. Curva de agotamiento de oxígeno en sedimentos del Muelle de Guardacostas (Tumaco, mayo de 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos obtenidos se graficó el agotamiento del oxígeno a través del tiempo para cada muestra obtenida del respectivo punto de muestreo, en las dos matrices de ensayo, agua mas sedimento y agua de mar. En la figura 3 se presenta el comportamiento observado para los ensayos de la muestra recolectada en el Muelle de Guardacostas.

El oxígeno disuelto en el ensayo de la mezcla de agua con sedimento disminuyó en 2.46 mgO₂/l, a través del período monitoreado; la pendiente de la regresión lineal para la matriz conformada de agua de mar más sedimento fue de -0.1365 mgO₂/l*h. De forma similar, el agua de mar reveló un consumo de oxígeno de 0.97 mgO₂/L y la pendiente de la regresión fue de -0.0970 mgO₂/l. De esta forma conllevó a una disminución neta por parte de los sedimentos de 1.25 mgO₂/l.

En la zona monitoreada del sector del Puente El Pindo la reducción del oxígeno fue más notoria, comparando los resultados obtenidos (figura 4) para las dos

pruebas realizadas; para el ensayo de sedimento más agua, el oxígeno cambió en 2.22 mgO₂/L; mientras que con agua de mar sola disminuyó en 0.97 mgO₂/l durante las 12 horas monitoreadas, generando pendientes de -0.182 mgO₂/l*h y -0.097 mgO₂/l*h, respectivamente. De esta manera la disminución neta en los sedimentos fue de 1.25 mgO₂/l*h.

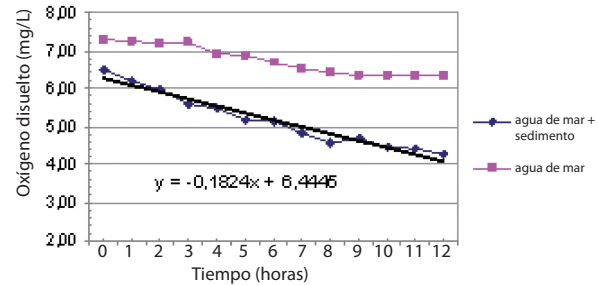


Figura 4. Curva de agotamiento de oxígeno en sedimentos del Puente El Pindo. Tumaco. Mayo del 2009.

Para calcular la DOS en la Playa de El Morro se obviaron las tres primeras horas monitoreadas, debido a que al inicio del ensayo se presentó un período de inestabilidad y la pendiente que permite obtener la DOS se debe calcular en los puntos donde el consumo de oxígeno sea estable [1], [13].

Finalmente, para esta muestra la reducción del oxígeno para el sedimento fue de 1.08 mgO₂/l, mientras que para el agua fue de 0.32 mgO₂/l, implicando una disminución neta por parte de los sedimentos de 0.754 mgO₂/l. Hecho que se ve reflejado en las pendientes obtenidas que fueron de -0.1149 mgO₂/l y -0.0514 mgO₂/l, respectivamente (figura 5).

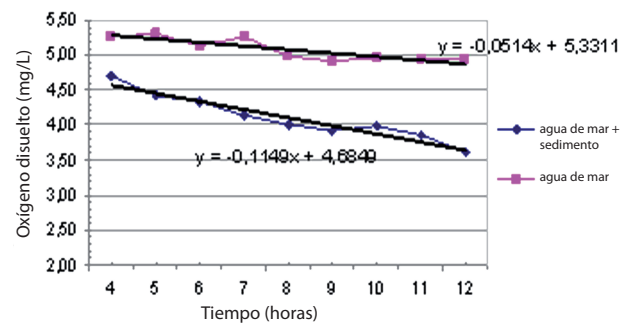


Figura 5. Curva de agotamiento de oxígeno en sedimentos de la Playa de El Morro (Tumaco, mayo de 2009).

Con las pendientes obtenidas para cada curva de las gráficas se calculó la tasa de consumo de oxígeno, en

sediments tested in the laboratory in the respirometric chamber, with the characteristics described in figure 2. And using equation (3). The results of oxygen demand per sediment type were thus obtained (table 1).

The arithmetic mean of the temperature data recorded for each sample tested was calculated for the correction of the SOD at a temperature of 20°C, and equation (4) was used. The results are presented in table 1.

Higher oxygen demand in sediments is presented in the sample obtained in the area of Puente el Pindo, with 0,451 g/m²/Day (table 1), as a result of oxygen con-

sumption to stabilize the organic matter embedded in the materials generated in these activities, together with chemical oxidation processes of elements such as iron, manganese and sulfur, processes which bring about as a consequence increased consumption of oxygen. Another effect associated with consumption of O₂ may be related to high mineralization of organic nitrogen into ammonium in the sediment of the sector. Ammonia can pass the aerobic top layer, which can be transformed into nitrate, previously passing through an unstable state of nitrite, thus causing higher oxygen consumption and consequently higher SOD.

Table 1. Oxygen consumption rates in sediments from three stations of the cove of Tumaco.

Station	DOS (mg/m ² *h)	Average temperature (°C)	DOS a 20 °C (g/m ² .día)
Muelle de Guardacostas	13.00	22.08	0.288
Puente El Pindo	23.05	24.45	0.451
Playa de El Morro	17.14	22.88	0.360

The SOD calculated for this area is within the range of values reported in the literature for SOD at 30 °C, equivalent to 0,42 g/m²/Day to 1.3 g/m²/Day for coastal areas with high pollution, subjected to wastewater discharges, agricultural and industrial waste [4].

The area with the lowest value for the SOD of the stations sampled was in the sample pertaining to the Muelle del Guardacostas sector, although it is apparently an area where not only material discharges coming from the Tumaco Port Society Dock can arrive, but also the nearby village (Exporcol). However, the strong currents which occur in the sector, and which are even stronger during the ebb tide, imply that the materials are removed and move towards the Pezmaco Sector and are discharged into the sea; which reflects that this is not an accumulation of pollutants and thus SOD values are relatively low. Likewise, it can be inferred that the sector's biogeochemical processes with oxygen requirements are associated to a small number of specialized microorganisms and / or presence of recalcitrant materials.

The SOD corresponding to the El Morro sector can be said to have been similar to that of the Muelle de Guardacostas station. It does not present a direct anthropic contribution; however, more often than not is the pre-

sence of materials normally involving wood waste (sawdust) arriving through the internal current along the island of Tumaco evidenced, which over time requires oxygen in its decomposition process.

CONCLUSIONS

In this study, biokinetic constants were determined in benthos in the laboratory, at three stations in the cove of Tumaco, with values ranging from 0,288 g/m²/Day in the area less affected, to 0,451 g/m²/Day in the critical area of the site examined.

The highest value found for oxygen demand is within the range reported by several researchers in polluted coastal areas.

The sediments from Puente el Pindo had the highest level of oxygen consumption, a situation expected as a result of the dumping of sewage, waste wood and waste oil, which increase oxygen consumption.

The results constitute a reference for the application of the models concerning the dynamics of oxygen and constitute key tools in order to simulate the quality of

los sedimentos ensayados en el laboratorio en la cámara respirométrica, con las características descritas en la figura 2. Empleando la ecuación (3) se obtuvieron los resultados de la demanda de oxígeno por tipo de sedimento (tabla 1).

Para la corrección de la DOS a una temperatura de 20 °C se calculó la media aritmética a los datos de temperatura registrados para cada muestra ensayada y se utilizó la ecuación (4). Los resultados se presentan en la tabla 1.

La mayor demanda de oxígeno en sedimentos se presentó en la muestra obtenida en el sector del Puente El Pindo, con 0.451 g/m².día (tabla 1), como consecuen-

cia del consumo de oxígeno para estabilizar la materia orgánica inmersa en los materiales generados en las actividades mencionadas, aunado a los procesos de oxidación química de elementos como hierro, manganeso y sulfuro, procesos que traen como consecuencia un mayor consumo de oxígeno. Otro posible efecto asociado al consumo de O₂ puede estar relacionado con una alta mineralización del nitrógeno orgánico a amonio en el sedimento del sector. Este amonio puede pasar a la capa superior aerobia, donde puede transformarse en nitratos, pasando previamente por un estado inestable de nitritos, con el consiguiente consumo de oxígeno provocando así una DOS mayor.

Tabla 1. Tasas de consumo de oxígeno en sedimentos de tres estaciones de la ensenada de Tumaco.

Estación	DOS (mg/m ² *h)	Temperatura promedio (°C)	DOS a 20 °C (g/m ² .día)
Muelle de Guardacostas	13.00	22.08	0.288
Puente El Pindo	23.05	24.45	0.451
Playa de El Morro	17.14	22.88	0.360

La DOS calculada para esta zona se encuentra dentro del rango de valores registrados en la literatura para DOS a 30°C de 0,42 g/m².día hasta 1,3 g/m².día para zonas costeras con un alto grado de contaminación, sometida a vertimientos de aguas residuales, desechos agrícolas e industriales [4].

La zona con el valor más bajo para la DOS de las estaciones muestreadas la presentó la muestra perteneciente al sector del Muelle de Guardacostas, aunque aparentemente es un sector donde pueden llegar, tanto materiales vertidos desde el Muelle de la Sociedad Portuaria de Tumaco, como del caserío aledaño (Exporcol); sin embargo, las fuertes corrientes que se presentan en el sector y que se pronuncian aún más durante el reflujó de la marea, implican que los materiales sean retirados y avancen hacia el Sector de Pezmaco y se expulsan mar adentro; hecho que refleja que no se presente una acumulación de contaminantes y por ende los valores de la DOS sean relativamente bajos. Asimismo, se puede inferir que en el sector los procesos biogeoquímicos con requerimientos de oxígeno estén ligados a un bajo número de microorganismos especializados y/o presencia de materiales recalcitrantes.

La DOS correspondiente al sector de El Morro se puede decir que fue similar a la de la estación Muelle de

Guardacostas. No presenta un aporte antrópico directo, sin embargo, con frecuencia se observa la presencia de materiales consistentes generalmente en residuos de madera (aserrín) que llegan a través de las corrientes internas que bordean la isla de Tumaco, los cuales en el transcurso del tiempo requieren de oxígeno en su proceso de descomposición.

CONCLUSIONES

En este estudio se determinaron las constantes biocinéticas en el bentos a nivel de laboratorio, en tres estaciones de la ensenada de Tumaco, con valores que varían desde 0.288 g/m².día, en la zona de menor afectación, hasta 0.451 g/m².día, en la zona crítica del lugar examinado.

El valor más alto encontrado para la demanda de oxígeno está dentro del rango reportado por varios investigadores en zonas costeras contaminadas.

Los sedimentos del Puente El Pindo presentaron el mayor consumo de oxígeno, situación esperada como consecuencia del vertimiento de aguas residuales, de desechos de madera y desechos oleosos, los cuales potencian el consumo de oxígeno.

coastal water, since no information is published on the subject.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- [1] Utley Barbra, C., Vellidis, G., Lowrance, R. y Smith, M. C. Factors affecting sediment oxygen demand dynamics in backwater streams of Georgia's coastal plain. Cited in: *Journal of the American Water Resources Association*. 2008; 44: 742-743.
- [2] Rabouille, C., Denis, L., Dedieua K.; Stora G.; Lansardc B.; Grenz C. Oxygen demand in coastal marine sediments: comparing in situ microelectrodes and laboratory core incubations. Cited in: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2003; 285-286: 49-69.
- [3] Grajales, H. Determination of the oxygen demand of submerged vegetation in the dam area of the La Vega creek (Antioquia) (Determinación de la demanda de oxígeno de la vegetación sumergida en la zona de represamiento de la quebrada la Vega (Antioquia)) Master Thesis in Environmental Engineering. University of Antioquia, Medellín, 2004.
- [4] Chua, H.; Hua, W.F.; Lob, W.; Sina, S.N. Nutrient release and sediment oxygen demand in a eutrophic land-locked embayment in Hong Kong. En: *Environment International*. 2001;26: 369-375.
- [5] Nakamura, Y. Sediment oxygen consumption and vertical flux of organic matter in the Seto Inland Sea, Japan. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2003;56: 213-220.
- [6] Bowman, G. T. Sediment oxygen demand techniques: a review and comparison of laboratory and in situ systems. *Water Research*. 1980;44:491-9.
- [7] Friedman G., M.; Sanders, J. Principles of sedimentary deposits. Macmillan publishing company. 1992. p. 231-277.
- [8] Hernández, S, Franco, C., Herrera, C. Organic carbon and organic matter in surface sediments of Bahía Concepción (Carbono orgánico y materia orgánica en sedimentos superficiales de la bahía concepción). Cited in: *Science now*. 2008, 11:28-34.
- [9] Steeby, J. A. Factors Affecting Sediment Oxygen Demand in Commercial Channel Catfish Ponds. En: *Journal of the World Aquaculture Society*. 2004; 35:3.
- [10] Pesson, P. Pollution of inland waters: impact on aquatic biocenosis (La contaminación de las aguas continentales: incidencia sobre la biocenosis acuática). New York: Oxford University Press, 1978. p.5-20.
- [11] US. EPA (Environmental Protection Agency). Rates, constants and kinetics formulations in surface water quality modeling. 2 ed. Athenas: EPA, 1985. p.186.
- [12] Casanova Rosero, R.F. Betancourt Portela, J.M. Characterization and evaluation of water quality of the cove of Tumaco (Caracterización y evaluación de la calidad del agua de la Ensenada de Tumaco). *Scientific Bulletin. Pollution Control Center of the Pacific*. 1997, 6: 45-55.
- [13] West, E. J.; Welsh, D. T.; Pitt, K. A. Influence of decomposing jellyfish on the sediment oxygen demand and nutrient dynamics. In: *Hydrobiology*. 2009. p. 151-160.

Los resultados se constituyen en referencia para la aplicación de los modelos relativos a la dinámica del oxígeno y se constituyen en herramientas clave para simular la calidad de las aguas costeras, dado que no se encuentra información publicada al respecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Utley, Barbra, C.; Vellidis, G.; Lowrance, R. y; Smith, M. C. Factors affecting sediment oxygen demand dynamics in backwater streams of Georgia's coastal plain. Citado en: *Journal of the American Water Resources Association*. 2008; 44: 742-743.
- [2] Rabouille, C.; Denis, L.; Dedieua K.; Stora G.; Lansardc B.; Grenz C. Oxygen demand in coastal marine sediments: comparing in situ microelectrodes and laboratory core incubations. Citado en: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2003; 285-286: 49-69.
- [3] Grajales, H. Determinación de la demanda de oxígeno de la vegetación sumergida en la zona de represamiento de la quebrada la Vega (Antioquia) Tesis de Maestría en ingeniería ambiental. Universidad de Antioquia- Medellín; 2004.
- [4] Chua, H.; Hua, W.F.; Lob, W.; Sina, S.N. Nutrient release and sediment oxygen demand in a eutrophic land-locked embayment in Hong Kong. En: *Environment International*. 2001;26: 369-375.
- [5] Nakamura, Y. Sediment oxygen consumption and vertical flux of organic matter in the Seto Inland Sea, Japan. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2003;56: 213-220.
- [6] Bowman, G. T. Sediment oxygen demand techniques: a review and comparison of laboratory and in situ systems. *Water Research*. 1980;44:491-9.
- [7] Friedman G., M.; Sanders, J. Principles of sedimentary deposits. Nacmillan publishing company. 1992. p. 231-277.
- [8] Hernández, S; Franco, C.; Herrera, C. Carbono orgánico y materia orgánica en sedimentos superficiales de la bahía concepción. Citado en: *Ciencia ahora*. 2008;11:28-34.
- [9] Steeby, J. A. Factors Affecting Sediment Oxygen Demand in Commercial Channel Catfish Ponds. En: *Journal of the World Aquaculture Society*. 2004; 35:3.
- [10] Pesson, P. La contaminación de las aguas continentales: incidencia sobre la biocenosis acuática. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1978. p. 5-20.
- [11] US. EPA (Environmental Protection Agency). Rates, constants and kinetics formulations in surface water quality modeling. 2 ed. Athenas: EPA, 1985. p.186.
- [12] Casanova Rosero, R.F. Betancourt Portela, J.M. Caracterización y evaluación de la calidad del agua de la Ensenada de Tumaco. *Boletín Científico. Centro Control Contaminación del Pacífico*. 1997; 6: 45-55.
- [13] West, E. J.; Welsh, D. T.; Pitt, K. A. Influence of decomposing jellyfish on the sediment oxygen demand and nutrient dynamics. En: *Hydrobiologia*. 2009. p. 151-160.