

# *Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos*

## *Definition of indicators for marine and coastal water, sediments and soil quality in colombian ports*

*Recibido para evaluación: 04 de Octubre de 2010*  
*Aceptación: 04 de Noviembre de 2010*  
*Recibido versión final: 25 de Noviembre de 2010*

**Luz A. Quintero Rendón<sup>1</sup>**  
**Edison A. Agudelo<sup>2</sup>**  
**Yamith A. Quintana Hernández<sup>3</sup>**  
**Santiago A. Cardona Gallo<sup>4</sup>**  
**Andrés F. Osorio Arias<sup>5</sup>**

### RESUMEN

Los puertos, debido al uso de los espacios costeros y como consecuencia de las actividades inherentes a su función, están alterando las condiciones naturales de la calidad de aguas, sedimentos y suelos. Las zonas portuarias generalmente compartidas con otro tipo de actividades como la pesca, la recreación, entre otras, son receptoras de descargas de los sistemas de tratamiento de agua residual de efluentes industriales, efluentes domésticos, o aguas de escorrentía, bien sea por emisiones puntuales o difusas. Esta es una propuesta de rediseño de las variables que han venido monitoreándose por mucho tiempo en los puertos colombianos, y está encaminada al establecimiento de una nueva y amplia oferta de variables que contienen información muy relevante para definir las características físicas, químicas y microbiológicas de los cuerpos de agua, sedimentos marinos y suelos a monitorear en zonas portuarias, con el fin de mejorar la gestión y disminuir los riesgos asociados a la calidad ambiental, generados por la actividad.

**Palabras Clave:** Monitoreo, indicadores, calidad de agua y sedimentos, calidad de suelos.

### ABSTRACT

Due to the intensive use of the coastal zones and as a consequence of the activities derived from its operation, port areas are altering the natural conditions of the water, sediments and soil quality. These areas are generally shared with other activities such as fishing and recreation, and they receive discharges of runoff, industrial and domestic residual waters either in punctual or diffuse emissions. This work present a redesign of the variables that have been traditionally monitored in the Colombian ports, which strives to establish a new and broad offer of variables with very relevant information to define the physical, chemical and microbiological characteristics of the water, marine sediments and soil in port areas. This is done with the objective to enhance the port management and to diminish the risk associated with environmental quality related to port activity.

**Key Words:** Monitoring, indicators, water and sediment quality, soil quality.

---

*1. Ing., Estudiante Maestría de Ingeniería Química, Escuela de Procesos y Energía*

*2. Ing., Mg. Medio Ambiente y Desarrollo, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*

*3. Ing., Estudiante Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS)*

*4. PhD. Profesor Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*

*5. Dr. Profesor Asociado. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*

*Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*

*scardona@unal.edu.co, sancardonagal@gmail.com*



## 1. INTRODUCCIÓN

Las políticas de expansión portuaria del país, jalonadas por la firma de tratados de comercio internacional, han generado cuestionamientos críticos sobre la sostenibilidad futura de los ecosistemas marino- costeros, debido, en buena medida, a la deficiente gestión en la operación de los puertos, a la inadecuada gestión de instituciones y personas que hacen uso de estos recursos. Por esta razón, es imperioso contar con las herramientas necesarias para realizar los seguimientos pertinentes a los impactos generados y para tomar las medidas necesarias a que haya lugar. En la actualidad, se han incrementado estas problemáticas ambientales en las zonas costeras por la lucha con otros sectores económicos y con la sociedad civil que ven en estas zonas una vocación distinta a la del desarrollo exclusivamente portuario. En este sentido, Alonso *et al.* (2003) mencionan que, para que las zonas costeras, recurso natural único, frágil y limitado del país, conserven sus funciones naturales y su productividad, es necesario mejorar considerablemente su planificación y administración, lo que demanda esfuerzos de investigación científica y técnica de los componentes oceanográficos, físicos y socio- económicos.

Además, el crecimiento no planificado de los asentamientos humanos en las costas hace que los procesos socio- económicos en estas zonas del país se conviertan en un factor adicional de presión y deterioro ambiental asociado a la explotación excesiva de los recursos naturales y a los efectos dañinos de los desechos resultantes de las actividades humanas. Lo anterior representa un incremento en la contaminación marino- costera, es decir, la pérdida y el deterioro de los recursos costeros (Steer *et al.* 1997). Según Garay, citando por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (2004), las descargas municipales, industriales, agrícolas y los vertimientos de residuos oleosos de la actividad marítima y portuaria, así como la actividad petrolera, son las principales fuentes de contaminación y deterioro de las aguas de la cuenca del Caribe, ocasionando la presencia de tóxicos orgánicos, metales pesados, sólidos suspendidos, microorganismos patógenos y nutrientes a los ambientes marino- costeros, los cuales afectan el bienestar de los ecosistemas y la calidad de vida de los grupos humanos presentes en la región.

Esta propuesta busca determinar los indicadores adecuados para el seguimiento y monitoreo de la calidad de aguas, sedimentos y suelos en puertos en Colombia, basados en la revisión de los parámetros de calidad de agua y sedimentos propuestos por el Instituto de Investigaciones Marina y Costeras, INVEMAR, con amplia experiencia en el tema, además de la revisión de la normatividad nacional e internacional sobre los valores de referencia para contaminantes en aguas, sedimentos y suelos. La propuesta está fundamentada en el diagnóstico de las acciones desarrolladas por los puertos relacionados con el seguimiento de la calidad del agua, sedimentos y suelos, identificando las fortalezas y deficiencias de los programas de vigilancia vigentes, para definir indicadores y/o variables para el monitoreo, con sus metodologías y técnicas.

Definir los mecanismos necesarios para la prevención y el control de los factores de deterioro ambiental, determinantes en los criterios de evaluación, del seguimiento y manejo ambiental de las actividades económicas, y regular el uso y manejo del ambiente y de los recursos naturales renovables en las zonas marinas y costeras, es parte de los objetivos trazados en este estudio, partiendo del hecho de que la actividad portuaria puede producir impactos ambientales capaces de generar desequilibrios perjudiciales en los ecosistemas marinos y costeros, y afectar la calidad de vida de las poblaciones humanas asentadas en los territorios aledaños a los puertos.

Para determinar los indicadores adecuados, se tuvo en cuenta la pertinencia de acuerdo a un número de actividades específicas o vocación mercantil que realiza cada puerto objeto de este estudio.

Este artículo presenta parte de la justificación e importancia de los indicadores de la calidad de aguas, sedimentos y suelos en puertos, luego describe la metodología mediante la cual se identifican los indicadores o variables de medición que se propone evaluar en esta dimensión descrita en los resultados; finalmente, propone una metodología y técnicas de medición con respecto a unos valores de referencia de normatividad nacional o internacional, culminando con las sugerencias para la implementación.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo sostenible se plantea el reto de incluir en una de sus líneas de acción, la prevención y control de la degradación ambiental, a través del fortalecimiento de instrumentos que atiendan de manera directa sus principales causas y promuevan una cultura de prevención y control del medio ambiente urbano y rural, como son la contaminación del agua, la contaminación del aire, la contaminación visual y auditiva, la afectación de la flora y fauna, la generación de residuos, y demás factores que afecten la calidad de vida de las comunidades.

El sector portuario del país no se escapa a los planteamientos del desarrollo sostenible. Es así como se han generado cuestionamientos críticos sobre la sostenibilidad futura de los ecosistemas marino- costeros, debido, en buena medida, a la deficiente gestión en la operación de los puertos. Por esta razón, es imperioso contar con las herramientas necesarias para realizar los seguimientos pertinentes a los impactos generados y para tomar las medidas a que haya lugar.

En este sentido, las aguas marinas, costeras, superficiales y los sedimentos son potencialmente receptores de los residuos sólidos y líquidos producidos en el área de influencia del puerto. Estos residuos pueden ser orgánicos e inorgánicos de tipo industrial y doméstico que directamente podrían ser descargados al mar o llegar a través de las corrientes fluviales. Los principales efectos del manejo inadecuado de los desechos sólidos, los vertimientos de aguas residuales y los derrames de combustibles, grasas y aceites, están asociados a los cambios en las características físico- químicas del recurso, con los consecuentes riesgos para la flora y fauna marina, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT, 2000).

Los indicadores que se implementan actualmente para el monitoreo y seguimiento de la calidad del agua en los puertos colombianos han sido diseñados e implementados por el INVEMAR, y se consideran pertinentes para ser incorporados en el sistema de monitoreo que se propone en el componente de calidad de aguas marinas y costeras. Además, se debe tener en cuenta los lineamientos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2004) para los programas de monitoreo del recurso hídrico en los ámbitos continental y marino.

## 3. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en nueve puertos de gran calado bajo la jurisdicción, para el seguimiento y monitoreo ambiental, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Los puertos de la zona de estudio tienen distintas vocaciones mercantiles y distinta infraestructura. Por ello, fueron definidas dos categorías principalmente que son: puertos monpropósito (sólo carbón o clinker) y multipropósito (carga general). Para ampliar en la metodología general del estudio, se puede consultar Osorio *et. al.* (2010), en esta edición.

Los indicadores de calidad de agua y sedimentos propuestos para los puertos fueron planteados mediante la revisión de información secundaria de los estudios y diseños implementados por la principal autoridad ambiental, con mucha experiencia en el tema, el INVEMAR, como los Índices de la Calidad Ambiental de las Aguas Marinas y Costeras. Estos determinan el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas, y describen el estado de un cuerpo de agua marino con relación a las condiciones ambientales que propician la preservación de la flora y la fauna. Son retomados y adaptados a las condiciones ambientales específicas de los puertos estudiados y a la vez de acuerdo a las actividades contaminantes y su interacción con el medio para adaptarlos al plan de monitoreo. Debido a que algunas variables de contaminación y su efecto en las aguas marinas se excluyen en los índices actualmente implementados por el INVEMAR, se propone otros índices utilizados en agua superficial para adaptarlos a agua marina.

Para la calidad de suelos, cabe resaltar que en Colombia actualmente no existe normatividad vigente que reglamente y fije estándares ambientales sobre suelos contaminados tanto para zonas industriales como residenciales, aunque existen diversas normas dictadas por los distintos organismos del estado que buscan subsanar los vacíos existentes.



## 4. RESULTADOS

A continuación, se da una breve explicación de las diferentes variables a tener en cuenta en un programa de monitoreo de calidad de aguas; además se describe alguna de las alteraciones que pueden generar en el ambiente al igual que en los seres vivos, en la medida en que se superen los límites de tolerancia.

### 4.1. Calidad del agua

Como parte de las variables que se han tenido en cuenta para determinar las alteraciones generadas en el agua por la actividad portuaria, están la materia orgánica y los compuestos orgánicos, definidos como toda clase de sustancia que involucra dentro de su estructura molecular el carbono. En el estudio ambiental hace referencia a dos tipos: a) la de origen viviente que comprende todos los residuos y desechos provenientes de organismos vivos, incluso los mismos organismos; y b) la de origen antrópico, en la que entran todas las sustancias sintetizadas por el hombre a través de procesos industriales (Alonso *et. al.*, 2003).

Las variables microbiológicas determinan los microorganismos que pueden causar enfermedades tales como virus, bacterias y parásitos. En este sentido, los peces y los moluscos concentran los patógenos en sus tejidos y pueden causar enfermedades a las personas que los consumen o entran en contacto con ellos. De otro lado, los agentes patógenos pueden provenir de aguas de escorrentías urbanas y agrícolas, desperdicios de botes y marinas, mal manejo de sistemas de pozos sépticos, descargas de plantas de tratamiento, buques, lanchas, conexiones ilegales de sanitarios y desperdicios de animales. Además, las bacterias coliformes totales y fecales son indicadores de la contaminación del agua debido a las heces de humanos, animales entre otros. Estos se pueden encontrar en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en el fondo marino<sup>1</sup>.

Otro de los aspectos a tener en cuenta para los planes de monitoreo ambiental en calidad del agua son los nutrientes. El enriquecimiento en nutrientes causa una mayor productividad primaria de las algas en las capas superficiales, lecho marino y el sedimento marino, seguida de una mayor productividad secundaria de los animales marinos. Aunque cierto enriquecimiento llega a ser beneficioso, su exceso puede causar grandes proliferaciones de algas y excesivo crecimiento de la hierba marina, agotamiento de oxígeno y producción de sulfuro de hidrógeno que resulta tóxico para la vida del mar y puede causar grandes mortandades. Los fenómenos de eutrofización afectan asimismo a la salud y a los usos recreativos de las zonas litorales.

Los nutrientes llegan al mar por vertidos directos procedentes de la industria, la agricultura y las aguas residuales y son transportados por los ríos y por los depósitos atmosféricos. Los nutrientes claves en la eutrofización marina son el nitrógeno y el fósforo. El catión de amonio indica contaminación con fertilizantes y heces; el anión de nitrito indica actividad bacteriológica; el anión de nitrato indica contaminación agrícola; la variable de nitrógeno total identifica la suma del nitrógeno orgánico (proteínas y ácidos nucleicos) en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc. y el ión amonio, los cuales pueden ser nitrificados (se transforma en nitritos y nitratos) dentro de las plantas de tratamiento. Los fosfatos indican la presencia de detergentes y fertilizantes; el exceso de fósforo total en el agua genera eutrofización; su medición incluye distintos compuestos como ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico.

Otros elementos con capacidad de generar alteraciones en la calidad de las aguas y los sedimentos son los metales pesados. El agua de mar contiene de forma natural pequeñas concentraciones de metales pesados que no resultan perjudiciales para el ecosistema y son necesarias para el desarrollo de los organismos vivos. El problema surge cuando se produce un aumento de concentración; elementos que resultan beneficiosos se convierten en sustancias tóxicas que se pueden comportar como verdaderos venenos para los organismos marinos o acumularse en la cadena trófica de forma que pueden convertirse en tóxicos para el hombre. Los metales provienen de explotaciones mineras, procesos de metalurgia, producción de compuestos

1. <http://www.calidadmicrobiologica.com>

químicos, descargas de residuos domésticos, operaciones de dragado, explotaciones minerales en zonas costeras o explotaciones submarinas, lixiviados provenientes del lavado de maquinaria, etc.

La contaminación por metales pesados resulta ser peligrosa por tres características principales: toxicidad, persistencia y bioacumulación. A determinadas concentraciones, en el agua o en los sedimentos, la toxicidad implicará la muerte por envenenamiento de las especies que habitan el medio. De otro lado, los metales pesados, por su persistencia, no son biodegradables. Por ello, permanecen en el medio durante largos períodos y la bioacumulación implica que determinadas algas son acumuladoras de metales pesados que, a partir de su ingestión, estos contaminantes pueden introducirse en las redes alimenticias de los animales y el hombre.

Otros elementos de importancia en el seguimiento de la calidad del agua y los sedimentos son los sulfuros, sulfuro ácido volátil y los sulfatos generados en los puertos carboníferos por la lixiviación del carbón en los patios de acopio, los silicatos y el calcio. De otro lado, la utilización masiva de plaguicidas organoclorados y fosforados, durante las últimas décadas y la comprobación de sus efectos negativos sobre las comunidades marinas animales, vegetales y el hombre, hacen que se considere este tipo de compuestos como los más perjudiciales para el medio ambiente, junto con los metales pesados. La contaminación por plaguicidas es peligrosa por la persistencia, la bioacumulación y la rápida distribución a través del agua y del aire a grandes distancias.

Existen diversas fuentes de contaminación marina por petróleo a través de la escorrentía fluvial. Además en los puertos se producen muchos vertidos pequeños y ocasionalmente grandes en las zonas con fuerte tráfico marítimo, lo que puede causar importantes daños locales, sobre todo, deterioro de playas, daños en la producción de peces y crustáceos y reducción de la población de aves.

Las variables mencionadas en la siguiente tabla se identificaron a partir de las situaciones actuales de los puertos, actividades portuarias, movimientos de carga, contingencias presentadas, información suministrada en los historiales de mediciones de calidad de agua marina descrita en los informes de cumplimiento ambiental, entre otras. Algunas de las siguientes variables sugeridas han sido medidas continuamente por los puertos pero, en otras, existe carencia de información. Por lo tanto es necesario realizar el monitoreo de la calidad del agua y los sedimento de las siguientes variables de forma continua y completa para realizar un análisis global de la afectación de las actividades portuarias a los cuerpos de agua y al sedimento marino.

Para la aplicación a cada puerto se sugiere realizar trabajo de campo para establecer y revalidar la información que existe de las emisiones puntuales y difusas, los puntos de descarga de los sistemas de tratamiento de agua residual; doméstico, industrial, agua de escorrentía o agua marina, cuerpos de agua receptores de efluentes domésticos, cuerpos de agua receptores de efluentes industriales, pozos sépticos, sedimentadores, trampas de grasa, canales de aguas lluvias, entre otros. El anterior trabajo de campo sirve para determinar cuáles de las siguientes variables sugeridas deberán excluirse o incluirse.

Las variables que se proponen monitorear, se clasifican de acuerdo a sus características en 8 grupos para agua marina. Se describen en la tabla siguiente:

| FÍSICO-QUÍMICOS       | BIOLÓGICOS                     | METALES      |
|-----------------------|--------------------------------|--------------|
| Color                 | Clorofila "a"                  | Hierro total |
| Olor                  | DBO5                           | Mercurio     |
| Sabor                 | DQO                            | Cadmio       |
| Temperatura           | Recuento poblacional de hongos | Cobre        |
| pH                    | Levaduras                      | Arsénico     |
| OD                    | Aerobios mesófilos             | Zinc         |
| Saturación de oxígeno | Enterococos                    | Plomo        |
| Transparencia         | Bacterioplanton                | Cromo        |
| Turbiedad             | Fitoplancton                   | Níquel       |

**Tabla 1. Parámetros para la calidad de agua marina**



| FÍSICO-QUÍMICOS  | BIOLÓGICOS                                 | METALES                            |
|--|--|------------------------------------|
| Dureza total   | Biomasa zooplanctónica                     | <b>OTROS ELEMENTOS /COMPUESTOS</b> |
| Salinidad  | <b>MICROBIOLÓGICOS</b>                     | Silicatos                          |
| Conductividad  | Coliformes totales                         | Calcio                             |
| Grasas y aceites   | Coliformes fecales                         | Sulfatos                           |
| Película visible de grasas y aceites                             | <b>NUTRIENTES</b>                          | Sulfuros                           |
| Sólidos disueltos totales  | Fosforo total                              | <b>PLAGUICIDAS</b>                 |
| Sólidos sedimentables  | Ortofosfatos (fósforo inorgánico disuelto) | Plaguicidas organoclorados         |
| Sólidos suspendidos totales                                      | Nitrógeno total                            | Plaguicidas fosforados             |
| Sólidos totales  | Amonio                                     | <b>HIDROCARBUROS</b>               |
| Sólidos totales fijos  | Nitrito                                    | Hidrocarburos aromáticos totales   |
| Sólidos totales volátiles  | Nitrato                                    | Hidrocarburos totales del petróleo |
| Flotables  |  | Hidrocarburos disueltos            |
| Surfactantes   |  | Hidrocarburos dispersos            |
| Volumen de material particulado de carbón depositado en la costa |  |                                    |
| Volumen de derrames accidentales                                 |  |                                    |

Una vez identificadas y medidas las variables aplicables para cada puerto, se seleccionaron los indicadores, utilizando los construidos e implementados actualmente por el INVEMAR. Se debe tener en cuenta que algunas variables no han sido agrupadas dentro de estos indicadores, y, en esta medida, se propone adaptar los índices de contaminación diseñados por Ramírez *et al.* (1998), aplicados para Colombia en la calidad de agua superficial, en la calidad de agua marina, con el fin de complementar la información suministrada por los indicadores del INVEMAR. Cada indicador está compuesto por un grupo de variables que deben medirse, y que, sumadas, generan un valor numérico determinado a través de fórmulas establecidas para tal fin (Ver: INVEMAR, 2003). Por esta razón, no deben ser desagregadas. Las variables que no se incluyen dentro de los indicadores anteriores, deberán conformar los grupos de parámetros en los que se clasifican las variables presentadas en la Tabla 1.

Los índices propuestos por el INVEMAR son ICAMPF: indicador de la calidad ambiental de las aguas marinas y costeras para la preservación de la flora y la fauna, y ICAMRAP: indicador de la calidad ambiental de las aguas marinas y costeras para la recreación, actividades náuticas y playas. Los índices propuestos por Ramírez *et al.* (1998) son: ICOMI: índice de contaminación por mineralización; ICOMO: índice de contaminación por materia orgánica; ICOSUS: índice de contaminación por sólidos suspendidos; ICOTRO: índice de contaminación por trofia, ICOTEMP: índice de contaminación por temperatura; ICOpH: índice de contaminación por pH.

Los anteriores índices de contaminación (ICO), permiten valorar problemas ambientales diferentes. ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO e ICOpH, permiten cuantificar el grado de contaminación de las aguas respecto a su condición general y no a contaminantes específicos (Fernández *et al.*, 2005).

Además de los anteriores indicadores, se sugiere la adaptación de los siguientes índices implementados en los Países Bajos, donde utilizan una técnica de representación gráfica para la descripción y valoración de ecosistemas acuáticos «A general method of ecological and biological assessment (B.J.E. Ten Brink, 1991Amoeba)». Son los siguientes: I-NPI: índice de contaminación por nutrientes; I-IPI: índice de contaminación industrial; I-PP: Índice de contaminación por plaguicidas (Fernández *et al.* 2005).

Las variables que no se encuentran dentro de los anteriores indicadores y que deben ser monitoreadas de acuerdo a su importancia por su incidencia en la calidad de agua de las zonas portuarias, se presentan como variables independientes y conforman los siguientes grupos.

- **Parámetros físico- químicos en aguas:** Color, olor, sabor, OD, transparencia, película visible de grasas y aceites, sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, sólidos totales fijos, sólidos totales volátiles, flotables, surfactantes, volumen de material particulado de carbón depositado en la costa, volumen de derrames accidentales.
- **Parámetros biológicos en aguas:** Recuento poblacional de hongos, levaduras, aerobios mesófilos y enterococos bacteria plancton, fitopláncton biomasa zooplantónica.
- **Otros elementos o compuestos en aguas:** Silicatos, calcio, sulfatos, sulfuros.
- **Hidrocarburos en aguas:** Hidrocarburos aromáticos totales hidrocarburos totales del petróleo.

#### 4.2. Calidad de sedimentos

Las variables mencionadas en la Tabla 2 fueron seleccionadas a partir del estudio previo de las condiciones generales de los puertos. Algunas de ellas ya han sido monitoreadas y otras deben incluirse en los monitoreos actuales debido a su relevancia para definir la contaminación de los sedimentos por la actividad portuaria.

| FÍSICO-QUÍMICOS        | METALES                            | PLAGUICIDAS                                |
|------------------------|------------------------------------|--|
| Temperatura            | Hierro                             | Plaguicidas organoclorados                 |
| pH                     | Mercurio                           | Plaguicidas fosforados                     |
| Humedad                | Cadmio                             | Hidrocarburos                              |
| Grasas y aceites       | Arsénico                           | Hidrocarburos aromáticos totales           |
| <b>BIOLÓGICOS</b>      | Cobre                              | Hidrocarburos totales del petróleo – TPHS. |
|                        | Zinc                               | <b>NUTRIENTES</b>                          |
| Demanda béntica        | Cromo                              | Fósforo total                              |
| Carbono orgánico total | Plomo                              | Ortofosfatos (fósforo inorgánico disuelto) |
| Materia orgánica       | <b>OTROS ELEMENTOS /COMPUESTOS</b> |  |
|                        |                                    | Nitrógeno total                            |
|                        | Calcio                             | Amonio                                     |
|                        | Sulfuros                           | Nitrito                                    |
|                        | Sulfuro ácido volátil              | Nitrato                                    |

**Tabla 2. Parámetros para la calidad de sedimentos**

Hasta el momento no se han implementado en los puertos indicadores de calidad de sedimento, por lo tanto las anteriores variables sugeridas para el monitoreo deberán conformar los siguientes siete grupos de parámetros:

- **Parámetros físico- químicos:** Temperatura, pH, humedad, grasas y aceites.
- **Parámetros biológicos en sedimentos:** Demanda béntica, carbono orgánico total, materia orgánica.
- **Parámetros nutrientes en sedimnetos:** Fósforo total, ortofosfatos (fósforo inorgánico disuelto), nitrógeno total, amonio, nitrito, nitrato.
- **Metales en sedimentos:** Hierro total, mercurio, cadmio, arsénico, cobre, zinc, plomo, cromo.
- **Otros elementos o compuestos en sedimentos:** Calcio, sulfuros, sulfuro ácido volátil.
- **Plaguicidas en sedimentos:** Plaguicidas organoclorados y plaguicidas fosforados.
- **Hidrocarburos en sedimentos:** Hidrocarburos aromáticos totales e hidrocarburos totales del petróleo.



### 4.3. Metodologías y técnicas para variables en calidad de aguas y sedimentos

Las siguientes actividades son necesarias para desarrollar el plan de monitoreo y seguimiento de la calidad de agua y sedimento:

- Trabajo de campo para establecer y revalidar la información existente sobre las emisiones puntuales y difusas, los puntos de descarga de los sistemas de tratamiento de agua residual; doméstico, industrial, agua de escorrentía o agua marina, cuerpos de agua receptores de efluentes domésticos, cuerpos de agua receptores de efluentes industriales, pozos sépticos, sedimentadores, trampas de grasa, canales de aguas lluvias, entre otros.
- Simulación del transporte de contaminantes a través de modelos de dispersión tales como: ELCOM (Hodges y Dallimore, 2006) y AQUALAB (GIOC, 2001), entre otros, para establecer el transporte de los compuestos espacial y temporalmente.
- Teniendo en cuenta la guía para la determinación del área de influencia del Ministerio (MAVDT, 2006) y a través del trabajo de campo y la simulación de transporte mencionadas anteriormente para cada puerto, se establecen los puntos exactos para la toma de muestras.
- Trabajo de campo para la toma de muestras. El monitoreo para calidad de agua y sedimento debería realizarse trimestralmente; las muestras de agua se deben tomar en la superficie y media profundidad. Se recomienda la guía de la EPA para la toma de muestras de la columna de agua y el sedimento marino (EPA, 1997).
- Reporte de los siguientes parámetros: fecha, hora, temperatura ambiente y posición. In situ deben medirse la temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad y sólidos sedimentables.
- Las metodologías para los análisis físico- químicos, biológicos, microbiológicos, nutrientes, metales, otros elementos e hidrocarburos se sugieren de Strickland & Parsons (1972), APHA/AWWA/WPCF (1998) y las metodologías del INVEMAR, 2003.

#### 4.3.1. Valores de referencia calidad de agua marina

En este trabajo a manera de guía, se presentan los valores de referencia para las diferentes variables propuestas.

Para establecer la calidad del agua, se deberá comparar con las normas establecidas por el Decreto 3039/2007. Algunos parámetros no están contenidos en la legislación colombiana por lo tanto se sugiere comparar con la Legislación Norteamericana (MADEP/EPA) y Canadiense.

**Tabla 3. Valores Guía extraídos de Legislación Norteamericana (MADEP/EPA) y Canadiense para calidad de agua marina.**

| Parámetro investigado | Unidad | Protección de vida acuática (mar) (1) | Uso para Consumo Humano (2) |
|-----------------------|--------|---------------------------------------|-----------------------------|
| p H                   | UpH    | 7.0/8.7                               | 6.5/8.5                     |
| SDT                   | mg/l   | NE                                    | 500                         |
| Cloruros              | mg/l   | NE                                    | 250                         |
| Bario                 | mg/l   | NE                                    | 2                           |
| Arsénico              | mg/l   | NE                                    | 0.05                        |
| Cadmio                | mg/l   | 0.00012                               | 0.005                       |
| Cromo                 | mg/l   | NE                                    | 0.1                         |
| Plomo                 | mg/l   | NE                                    | 0.015                       |
| Mercurio              | mg/l   | NE                                    | 0.002                       |
| Níquel                | mg/l   | NE                                    | 0.1                         |
| Zinc                  | mg/l   | NE                                    | NE                          |
| Cianuros              | mg/l   | 0.005(3)                              | 0.2                         |
| Hidrocarburos         | mg/l   | 0.110(4)                              | 0.2                         |

Fuente: (1): Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Protection of aquatic life/ Valores Guía para la protección de vida acuática (2): Massachusetts Drinking Water Standards /Estándares para agua de bebida (Regional EPA). NE: No se especifica valor; (3): Para agua dulce (4): Expresado como Benceno.



### 4.3.2. Valores de referencia calidad de sedimentos

Una primera aproximación para definir los valores de referencia de los distintos tipos de variables propuestas a medir, es conocer los valores normales que presentan los sedimentos no afectados (no contaminados); a partir de allí, se puede establecer umbrales mínimos que representan contaminación y definir los niveles de toxicidad. Estos niveles han de ser contrastados con estudios sobre los efectos, en plantas, animales y seres humanos (Junta de Andalucía, 1999).

En el país, la norma que fija estándares ambientales para los posibles contaminantes en los sedimentos marinos, no están decretados. Por tanto, en este trabajo, a manera de guía, se presentan los valores de referencia para las diferentes variables propuestas, tomados de otros países, como Canadá y Estados Unidos.

| Parámetro Investigado | Unidad | Valores guía para sedimentos(1) |
|-----------------------|--------|---------------------------------|
| Bario                 | mg/kg  | NE                              |
| Arsénico              | mg/kg  | 5.9                             |
| Cadmio                | mg/kg  | 0.6                             |
| Cromo                 | mg/kg  | 37.3                            |
| Plomo                 | mg/kg  | 35.0                            |
| Mercurio              | mg/kg  | 0.17                            |
| Níquel                | mg/kg  | NE                              |
| Zinc                  | mg/kg  | 123                             |
| Hidrocarburos tot     | mg/kg  | NE                              |

Fuente: (1): *Canadian Guidelines for the sediment quality ( protection of aquatic life )/ Valores Guía para sedimentos ( protección de vida acuática) NE: No se especifica valor.*

Tabla 4. Valores guía para calidad de sedimento extraídos de legislación Canadiense

| Parametro investigado              | Valor máximo (mg/L) Excepto pH y T |
|------------------------------------|------------------------------------|
| pH                                 | 6/9 UpH                            |
| Fenoles                            | 1                                  |
| Aceites y grasas                   | 20                                 |
| DBO                                | 50                                 |
| Metales (total de metales tóxicos) | 5                                  |
| Sulfuro                            | 1                                  |
| Temperatura (incremento)           | <3°C                               |

Fuente: *Pollution Prevention and Abatement Handbook WORLD BANK GROUP*

Tabla 5. Niveles guía de emisión de efluentes líquidos para las actividades de hidrocarburos

### 4.4. Calidad de suelos

En Colombia, actualmente, no existe normatividad vigente que reglamente y fije estándares ambientales sobre suelos contaminados tanto para zonas industriales como residenciales, aunque existen diversas normas dictadas por los distintos organismos del estado que buscan subsanar los vacíos existentes, como el Decreto 4741 del 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) sobre residuos peligrosos, la Resolución 1170 de 1997 del DAMA sobre hidrocarburos en suelo de estaciones de servicio, las normas del ICONTEC 4113, 3656, entre otras, sobre muestreo y análisis de suelos contaminados. Todas ellas pueden llegar a dar forma a una futura norma sobre suelos contaminados en el país. Las zonas marinas y costeras no son la excepción. Así, la carencia de legislación en materia de calidad de suelos impactados por contaminantes, hace pertinente proponer un monitoreo ambiental de estas zonas portuarias por medio indicadores, que apunten a conocer el estado de los suelos impactados y su riesgo para la salud humana y al ambiente.

Para iniciar esta caracterización, se hará uso de variables/indicadores que dan idea del estado ambiental actual del componente suelo. Los indicadores seleccionados corresponden a variables de medición que en sí mismas se convierten en indicadores. Se enuncian a continuación:

**Indicador 1.** Potencial de Hidrógeno (pH): Este valor tiene una gran importancia para determinar la retención de los compuestos contaminantes presentes en el suelo. Un suelo con un pH bajo o en disminución va a presentar problemas de desarrollo porque el crecimiento de plantas y microorganismos va a estar inhibido.

**Indicador 2.** Potencial Redox: El potencial Redox y el pH son importantes en determinar los límites de solubilidad y estabilidad de formas particulares de compuestos disueltos, en especial los metales pesados.

**Indicador 3.** Conductividad Eléctrica-Salinidad: La presencia de sales ejerce una doble influencia en el suelo, por un lado la posible toxicidad de algunos iones presentes como el sodio, y de otro lado el incremento en la presión osmótica de la solución que dificulta la absorción de agua por parte de las plantas.

**Indicador 4.** Manejo Integral de Residuos: Este indicador viene siendo monitoreado por los puertos y llevado en estadísticas de reciclaje.

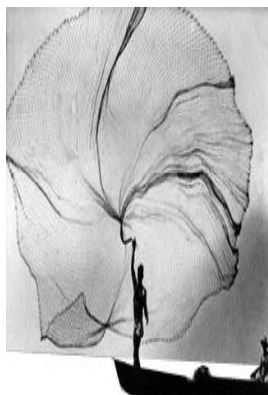
**Indicador 5.** Contenido de Materia Orgánica: Los excesos de materia orgánica en el suelo dependiendo de su origen pueden generar problemas de contaminación.

**Indicador 6.** Metales Pesados y Elementos Traza: son elementos que pueden ejercer una acción tóxica sobre los seres vivos.

**Indicador 7.** Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP): El uso de disolventes orgánicos, lubricantes y combustibles puede originar la contaminación del suelo por hidrocarburos.

**Indicador 8.** Compuestos Orgánicos, Organoclorados y Cianurados: Estos productos tienen efectos tóxicos y de persistencia en los organismos en el caso de los clorados, y los fosforados aunque son biodegradables son extremadamente tóxicos.

Estos indicadores fueron seleccionados basados en su relativa simplicidad de monitoreo y su sensibilidad hacia la contaminación, lo que permite relacionar directa o indirectamente cambios en el suelo por el ingreso de una sustancia extraña.



#### 4.4.1. Metodologías y técnicas

De acuerdo al análisis preliminar de la información secundaria suministrada por el MAVDT y a las visitas de inspección realizadas a los puertos, donde se pudo evidenciar una línea base que muestre el estado y la evolución ambiental del componente suelo a través del tiempo y que actualmente no existe una concienciación de la importancia de cuidar y preservar este recurso, se propone como primer paso, antes de implementar metodologías y técnicas para medir indicadores: caracterizar el suelo de la zona portuaria sometido a actividad directa, versus aquel que no lo está y comparar de manera preliminar en qué estado se encuentran. Debido a que no se posee una norma específica que fije valores límites permitidos para los distintos contaminantes que pueden afectar el suelo y sobre todo la salud de las personas y el medio ambiente. Se plantea realizar un monitoreo inicial y comparar los resultados con los estándares ambientales de la normatividad internacional, a fin de determinar si hay o no contaminación.

Se presenta dentro de las metodologías y técnicas del monitoreo de la calidad de suelos los siguientes aspectos: (a) Factores a considerar en el muestreo de suelos, (b) Localización de los puntos de muestreo, (c) Profundidad de muestreo, (d) Técnicas de muestreo según normativas y estándares internacionales.

##### a. Factores a considerar en el muestreo de suelos

Para realizar correctamente un muestreo, es necesario tener en cuenta una serie de factores que influyen en su planificación, si no se diseña una estrategia previa en función de estos factores, se pueden originar errores, retrasos en la realización de los trabajos o interpretaciones incorrectas de la información obtenida con el consiguiente error en el diagnóstico de la situación.

Los factores que se deben considerar a la hora de diseñar una campaña de muestreo se pueden agrupar en los siguientes tipos:

- Factores asociados a los objetivos y a los contaminantes presentes, como extensión y distribución espacial de la contaminación, profundidad de muestreo, y la naturaleza de las sustancias contaminantes.
- Factores asociados a características del terreno, como características geológicas, hidrogeológicas, geotécnicas, etc.
- Factores operativos, como accesibilidad del terreno, disponibilidad de agua, electricidad, permisos, etc.

#### **b. Localización de los puntos de muestreo**

Uno de los factores más relevantes a la hora de diseñar el muestreo es la localización de los puntos de muestreo. La situación de los puntos de muestreo se realizará basándose en el modelo conceptual de la distribución de la contaminación establecido a partir de toda la información preliminar recopilada.

Se pueden diferenciar muestreos simples u homogéneos en toda la extensión de la zona de estudio o estratificados con distintas sub-zonas, de distinta distribución de contaminantes. Dentro de las diferentes zonas, los muestreos pueden realizar por:

- Distribución al azar, donde los puntos de muestreo se recogen mediante técnicas aleatorias, como técnicas geoestadísticas.
- Distribuciones sistemáticas, que dividen el lugar en zonas de superficie similar donde las muestras se pueden tomar de forma regular o al azar.

#### **c. Profundidad de muestreo**

Otro factor importante a la hora de diseñar un muestreo es su profundidad, lo que dependerá de la naturaleza de la contaminación, del tipo y usos de suelo, etc. En ciertas ocasiones, como puede ser la ejecución de trabajos de investigación, se requiere un estudio detallado del terreno. Para ello, es necesaria una buena descripción del perfil del suelo separado por horizontes.

En otras situaciones, no es necesaria la toma de muestras de los distintos horizontes, sino que es suficiente con efectuar un muestreo sistemático a determinadas profundidades, por ejemplo a 10, 20 y 30 cm, independientemente de que dos o más muestras correspondan a un mismo horizonte. En estos casos, también se puede realizar un doble muestreo único, en el que se toma una primera muestra entre 0 y 20 cm de profundidad y otra por debajo de este nivel.

Otros factores importantes a tener en cuenta en el diseño del muestreo son el número de muestras y la cantidad de muestra por cada punto de muestreo. Estos vendrán determinados por las características del suelo y por los análisis que se vayan a realizar posteriormente.

#### **d. Técnicas de muestreo según normativas y estándares internacionales**

Por último, es importante la elección de las técnicas de toma de muestra. Éstas vendrán determinadas por una serie de aspectos como la accesibilidad y orografía del terreno, el tipo de terreno y materiales a muestrear, la naturaleza de los contaminantes, etc. Para esto, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC, tiene estandarizado todo el procedimiento para el muestreo, toma de muestra, cadena de custodia para el análisis de suelos contaminados.

#### **4.4.2. Valores de referencia**

En el país, la norma que fija estándares ambientales para los posibles contaminantes en el suelo está en fase de construcción (MAVDT), no obstante el decreto 4741 de 2005, en sus Anexos, presenta una lista de compuestos considerados peligrosos, que sitúan en riesgo a la salud de las personas y de los ecosistemas. En este trabajo, a manera de guía, se presentan los valores de referencia para las diferentes variables propuestas, tomados de otros países de la Unión Europea en especial España, los cuales hicieron una revisión de la normativa de los otros países de la Unión, y la adaptaron a sus tipos de suelo. Una primera aproximación para definir



los valores de referencia de los distintos tipos de variables propuestas a medir, es conocer los valores normales que presentan los suelos no afectados (no contaminados) para fijar así un fondo geoquímico; a partir de allí se pueden establecer umbrales mínimos que representan contaminación y poder definir los niveles de toxicidad. Es claro que estos valores de referencia deben estar acordes a los diferentes tipos de usos del suelo, ya que no es lo mismo un suelo de uso industrial, que uno de uso residencial o agrícola. Para el reconocimiento de la contaminación se utilizan los niveles de referencia que conllevan sistemas de alerta, vigilancia y control. Por encima de estas guías se encuentran los niveles de intervención que obligan ya a tomar medidas correctoras.

#### 4.5. Implementación del monitoreo

En la componente calidad del agua, se tienen tres niveles para el monitoreo. El monitoreo puntual cubre los sitios de captación y vertimiento de las aguas que se utilizan en el puerto. El monitoreo zonal se da principalmente para los análisis de la calidad del agua con el fin de asegurar de protección de los ecosistemas y la aptitud de su uso para recreación, riego, doméstico o industrial. El monitoreo regional se enfoca a la evaluación y gestión de eventos como derrames de hidrocarburos.

En el componente sedimentos se tienen tres escalas en el monitoreo. El monitoreo puntual corresponde al fondo de la columna de agua que se establece de acuerdo a los sitios de captación y vertimiento de las aguas que se utilizan en el puerto. El monitoreo zonal corresponde a los fondos de las columnas de agua de los puntos establecidos para los análisis de la calidad del agua con el fin de asegurar la protección de los ecosistemas y la capacidad de su uso de acuerdo para recreación, riego, doméstico o industrial. El monitoreo regional se enfoca a los fondos marinos apropiados para la evaluación y gestión de eventos como derrames de hidrocarburos.

En las actividades portuarias en general y en particular, el manejo de combustibles sólidos es considerado una actividad potencialmente contaminadora del suelo lo que resalta la importancia de mantener un control ambiental no solo para el suelo, sino también para el agua y el aire. El decreto 2811 de 1974 en sus artículos 171 y siguientes, propende por el cuidado del recurso suelo y obliga a tomar las medidas necesarias para prevenir y corregir los eventos que puedan influir de manera negativa el componente suelo.

En el componente suelo, la escala del monitoreo comienza por el área portuaria ya que en las condiciones actuales es prioritario el establecimiento de una línea base afín de conocer el estado inicial de los recursos que son afectados por la actividad portuaria. Para hacer esto se deberá caracterizar el suelo de la zona portuaria y comparar de manera preliminar las características actuales del suelo sometido a la actividad directa versus aquel que no lo está.

## 5. CONCLUSIÓN

A partir de la revisión de la documentación sobre las condiciones actuales en los puertos colombianos, se identificó y propuso un grupo mínimo de variables que deben ser medidas en los planes de monitoreo de la calidad de agua, sedimentos y suelos con el fin de mejorar la gestión, los cuales deberán estudiarse, validarse e implementarse para ser implementados como indicadores, buscando representar mejor las condiciones ambientales en la que se encuentran los cuerpos marinos, sedimentos y los suelos en zonas portuarias.

El análisis y revisión de los expedientes, los informes de cumplimiento ambiental, los planes de monitoreo de calidad del agua y los sedimentos de los puertos, para la definición de variables, mostraron que la información sobre niveles de concentración de sustancias y elementos en aguas y sedimentos marinos de Colombia, en la mayoría de los puertos no cuenta con seguimiento continuo, análisis de los resultados y comparación con los valores permisibles de acuerdo a la normatividad, entre otras por la ausencia de parte de esta.



En materia de indicadores, el estudio propuso la adaptación de indicadores que agrupan variables que contienen información muy relevante para definir las características físicas, químicas y microbiológicas de los cuerpos de agua y sedimentos marinos, las cuales no se incluyen en los indicadores actualmente implementados por el INVEMAR.

Para la implementación del monitoreo de la calidad de suelos en Colombia, es necesario avanzar primero en una normatividad que exija por un lado, a darle obligatoriedad al monitoreo, y por otro, a establecer límites permisibles de emisión de contaminantes. En este sentido, deberán a la vez plantearse estudios de caracterización de suelos muy exhaustivos sobre las condiciones normales de un suelo donde pretenda desarrollarse un proyecto de cualquier índole.

El estudio plantea la propuesta de implementación de 8 indicadores para el seguimiento a la calidad de suelos en puertos, estos deberán validarse a través de estudios que permitan establecer una línea base que permita ratificarlos o excluir algunos que no tengan ingerencia debido a la actividad específica que realiza cada puerto.



## BIBLIOGRAFÍA

- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 20. APHA/AWWAWPCF. 1134 P.
- Alonso D., Sierra- Correa P., Arias- Isaza, F. y Fontalvo, M., 2003. Conceptos y Guía Metodológica para el Manejo Integrado de Zonas Costeras en Colombia. Manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. Serie de Documentos Generales de INVEMAR N° 12, 94 P.
- B.J.E. Ten Brink, 1991. A quantitative method for description & assessment of ecosystems: The AMOEBA-approach. Elsevier: Marine Pollution Bulletin. Volume 23.
- Consejería del Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 1999. Los criterios y estándares para declarar un suelo contaminado en Andalucía y la metodología y técnicas de toma de muestra y análisis para su investigación. España.
- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, DAMA, 1997. Resolución 170.
- Environmental Protection Agency, 1997. Recommended guidelines for sampling marine sediment, water column, and tissue in puget sound. Washington. 59 P.
- Fernández, N., Solano, F., 2005. Índices de Calidad y de contaminación del Agua., Universidad de Pamplona.
- Garay, J et al., 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar, PNICM. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras «José Benito Vives De Andrés, INVEMAR. Santa Marta. 110 P.
- GIOC, 2001. Manual de referencia del modelo de ayuda a la gestión del litoral español. Modelo de propagación de oleaje espectral (OLUCA- SP 2.0). Dirección General de Costas (Ministerio de Medio Ambiente). Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (Universidad de Cantabria). 170 P. Disponible en: <http://www.smc.unican.es>
- Hodges B. and Dallimore C., 2006. Estuary, Lake and Coastal Ocean Model: ELCOM. Science Manual. Centre of Water Research. University of Western Australia.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. 4113, 3656.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2004. Guía para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá, Colombia.
- INVEMAR, 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos (Aguas, Sedimentos y Organismos). Santa Marta, Colombia.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2005. Decreto 4741.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2000. Guía Ambiental para Puertos Carboníferos. Bogotá. 156 P.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009. Diseño del programa de seguimiento ambiental permanente del estado de los recursos naturales en varias áreas portuarias del país. Convenio interadministrativo 122-2008. Dirección de Licencias Permisos y Trámites Ambientales, Universidad Nacional de Colombia. Proyecto de Consultoría. Colombia.
- Ministerio de la Protección Social de Colombia, 2007. Decreto 3039.
- Ramírez, A., Viña, G., 1998. Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. BP- Exploration, Bogotá.
- Steer, R., Arias- Isaza F., Ramos A., Sierra- Correa P., Alonso D., Ocampo P., 1997. Documento base para la elaboración de la Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas. Documento de consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente. Serie publicaciones especiales N° 6.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. (2nd Edition) A practical handbook of sea- water analysis. J. Fish. Res. Bd. Canadá. 167: 311 P.

