

# Análisis de riesgo ocupacional asociado a la presencia de monóxido de carbono mediante un sistema gráfico

## Occupational risk analysis associated with the presence of carbon monoxide using a graphic system

José Luis Buitrago Buitrago, Möritz Velásquez Riaño.

### Resumen



El monóxido de carbono es uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre. Sus principales fuentes productoras de emisión (aproximadamente el 80%), son los vehículos que funcionan con gasolina o diésel y los procesos industriales. Este trabajo se enfoca en el análisis de riesgo ocupacional para un área de estudio donde se encuentran fuentes fijas y móviles de monóxido de carbono. En este estudio se empleó la técnica de isoconcentraciones con el fin de evidenciar gráficamente la concentración del contaminante, utilizando un detector que opera con tecnología de sensor infrarrojo no dispersivo. Posteriormente, se realizó un cálculo de riesgos (plasmado en un mapa), el cual relaciona la concentración del contaminante con valores límite establecidos por la OSHA y la WHO. Finalmente, se observó un riesgo aceptable con respecto a las concentraciones de monóxido de carbono en el mapa de riesgos, evidenciado por un coeficiente de peligro menor a 1 en toda el área de estudio.

**Palabras clave:** Monóxido de Carbono, Análisis de Riesgo, Isoconcentración, Mapa de Riesgo.

### Abstract



Carbon monoxide is one of the biggest polluters of the atmosphere. The main sources producing emission (about 80%) are the vehicles that run on gasoline or diesel and industrial processes. This work focuses on the analysis of occupational risk for a study area where they are stationary and mobile sources of carbon monoxide. In this study isoconcentrations technique was used in order to graphically demonstrate the pollutant concentration employing a detector technology that operates with non-dispersive infrared sensor. Then, a calculation of risks (reflected in a map), which relates the concentration of the pollutant limits set by OSHA and WHO was performed. Finally, an acceptable risk was observed for carbon monoxide levels in the risk map, evidenced by a danger coefficient of less than 1 throughout the study area.

**Keywords:** Carbon Monoxide, Risk Analysis, isoconcentration, Risk Map.

Recibido / Received: Junio 01 de 2014 Aprobado / Approved: Junio 15 de 2014

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación científica y tecnológica terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Grupo de Investigación Choc lzone, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad El Bosque.

Autor para comunicaciones / Author communications: Möritz Velásquez Riaño, mvelasquezri@unbosque.edu.co

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

## Introducción

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro formado por la combustión incompleta de material orgánico en deficiencia de oxígeno, es un gas ligeramente menos denso que el aire constituido por un átomo de carbono y otro de oxígeno [1]. Las principales fuentes responsables de las emisiones de CO a la atmósfera son la combustión de vehículos que usan combustibles fósiles como gasolina y diésel, los procesos industriales y los incendios forestales [2]. Los riesgos ocupacionales asociados al monóxido de carbono se atribuyen a labores como: conductores de taxi, policías de tráfico, asistentes de estaciones de gasolina, trabajadores de casetas de peaje y bomberos [3], actividades realizadas al aire libre, pero también pueden estar asociadas a exposiciones de trabajadores en hornos o actividades en el interior de empresas.

Los efectos sobre la salud son ocasionados por la inhalación de este gas. Dentro del cuerpo, el CO se une al grupo hemo de la hemoglobina desplazando al oxígeno y formando un complejo llamado carboxihemoglobina (COHb); el cual interfiere con el transporte del oxígeno a los tejidos y células, produciendo una hipoxia generalizada [4]. La hemoglobina dispone de cuatro sitios de unión con el oxígeno; una vez el CO se ha unido con la hemoglobina, impide que los otros sitios libres de esta molécula se unan al oxígeno generando una desviación de la curva de disociación oxígeno-hemoglobina hacia la izquierda, esta alteración empeora la condición de hipoxia [5]. También, se ha evidenciado que existe una afinidad del CO con la mioglobina encontrada en el músculo cardiaco y esquelético, y se ha observado que la disociación de la oximioglobina es menor que la de COHb; esta condición puede generar lo que se denomina como “efecto rebote”, debido a que por un retorno tardío del CO liberado desde la mioglobina, puede aumentar los niveles de COHb [6]. El carácter fuertemente ligante del monóxido de carbono le permite unirse a los átomos de hierro de los citocromos, principalmente a los que intervienen en la cadena de la respiración mitocondrial, esto impide el adecuado uso de oxígeno por los tejidos orgánicos, lo cual agrava la condición de hipoxia tisular por déficit de oxígeno [7]. El monóxido de carbono también disminuye la actividad de la enzima arilsulfatasa A, la cual es esencial en el meta-

bolismo de la mielina ya que impide la acumulación y degradación de grupos sulfatidos que son neurotóxicos. Esto puede generar una leucoencefalopatía en individuos que presenten una reducción de esta enzima al 10% [8]. A concentraciones menores al 10% de COHb en sangre, podría verse afectado el sistema nervioso central, ya que este sistema es más sensible a las condiciones de hipoxia que otros sistemas. Se han realizado numerosos estudios del deterioro de la vigilancia la percepción y la realización de tareas delicadas después de la exposición a concentraciones de monóxido de carbono tan bajas que no produjeron signos o síntomas clínicos [9].

El análisis de riesgos es una técnica multidisciplinaria que usa conceptos desarrollados en varias ciencias. Esta técnica tiene varios usos como son identificar y evaluar problemas ambientales y de salud producidos por actividades peligrosas o el manejo de sustancias tóxicas, comparar tecnologías nuevas con las tradicionales para determinar la efectividad de los diferentes controles y técnicas de mitigación diseñadas para reducir los riesgos, localización de instalaciones potencialmente peligrosas y selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o elaboración de reglamentos ambientales [10].

Dentro de las metodologías de análisis de riesgos ocupacional más empleadas se encuentra el Método de la Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA por sus siglas en inglés). En este método, se comparan las concentraciones de los contaminantes con valores límites permisibles de exposición (PELs por sus siglas en inglés). Sin embargo, esta metodología no tiene en cuenta las exposiciones ocupacionales a largo plazo o crónicas, ni correlaciona de una manera directa las concentraciones de los contaminantes ni sus PELs, para establecer el nivel riesgo en un área de estudio.

La mayoría de estudios se han centrado en evaluar intoxicaciones agudas (accidentes) por causa de este gas y en Colombia no se encuentra en la literatura reportes sobre estudios a nivel ocupacional. Por lo anterior, este trabajo surge de la necesidad de identificar la presencia de contaminantes como el CO y el riesgo que representa

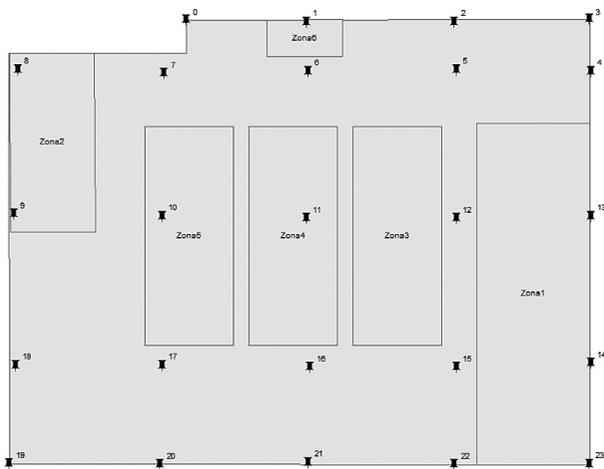
para la salud de los trabajadores la exposición a dicho gas dentro de una industria. El presente estudio basado en un sistema gráfico, busca mejorar la aplicación y la eficiencia de los métodos y practicas relacionadas con el manejo de dicho contaminante.

## Metodología

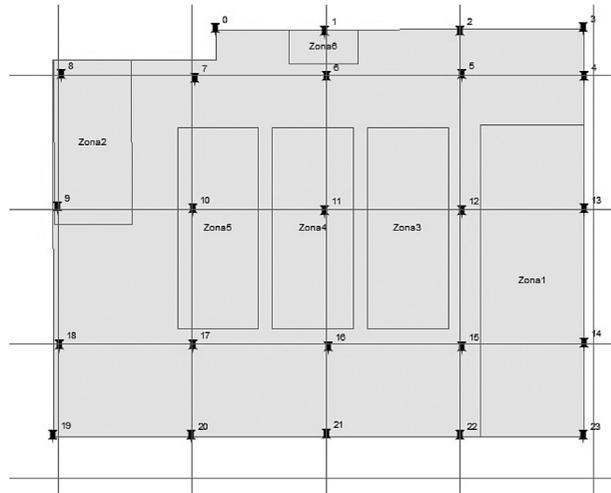
### Área de estudio

Se realizó una medición de la planta mediante un odómetro manual (Karson). La zona de estudio cubrió un área de aproximadamente 2228m<sup>2</sup>. 6 zonas representativas fueron identificadas así: zona 1 (bodega), zona 2, 3, 4 y 5 (producción), zona 6 (empaque). La planta también fue dividida en 24 puntos de muestreo (Figura 1). Utilizando el programa ArcGIS 10.1 (ESRI) y su herramienta grilla, los puntos anteriores fueron localizados en un plano, cada uno separado por 13 metros, adicionalmente se ubicaron 4 puntos que se utilizaron para trazar un marco al modelo gráfico (Figura 2).

**Figura 1.** Plano base del área de estudio, realizado con el programa ArcGIS 10.1.



**Figura 2.** Plano del área de estudio con grilla, realizado con el programa ArcGIS 10.1.



### Mapa de isoconcentraciones

El muestreo y el análisis del CO en cada uno de los 28 puntos de medición fue llevado a cabo cada 15 minutos durante una hora utilizando un medidor infrarrojo de CO (BW Gas Alert Extreme). Se transcribieron los datos a una hoja Excel (Microsoft) para calcular el promedio de una hora usando la ecuación 1 [11]:

Ecuación (1):

Promedio de concentración de CO =

$$\frac{(C_1 * T_1) + (C_2 * T_2) + (C_3 * T_3) + (C_4 * T_4)}{T_{1+2+3+4}}$$

En dónde, *C* = Concentración de exposición, *T* = Tiempo de exposición.

Luego se transcribieron estos datos en el programa ArcGis, con el fin de ubicar las concentraciones obtenidas en campo en un mapa de isoconcentraciones, utilizando la herramienta de análisis geoestadístico del programa.

### Cálculo de riesgo

Para el cálculo de riesgo se utilizó la metodología adaptada de Flores y cols. (2012) [12], en la cual a partir de un mapa de isoconcentraciones de la sustancia de interés elaborado con el Sistema ArgGis, se puede obtener un mapa de riesgos. A partir de este mapa, se puede apre-

ciar gráficamente el Índice o Coeficiente de Peligro, que se define como la relación entre las concentraciones de sustancias químicas obtenidas en los muestreos del aire con respecto a valores límites umbral (ecuación 2), reportados por la OSHA (50 ppm) y la WHO (26 ppm) [13]:

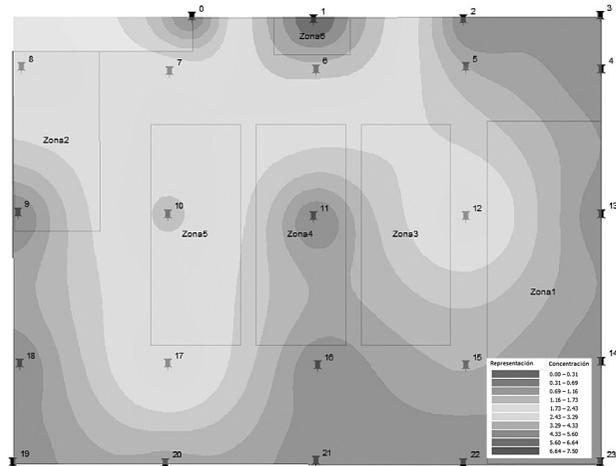
Ecuación (2):

$$\text{Cálculo de Riesgos} = \frac{\text{Promedio de concentración de CO}}{\text{Valor máximo permisible de exposición}}$$

## Resultados

En la Figura 3, se puede apreciar el mapa de isoconcentraciones del monóxido de carbono muestreado durante 1 hora en el área de estudio. La concentración máxima obtenida de CO (7,5 ppm) está representada en color rojo y se evidencia en el punto 1 (zona 6), que corresponde el zona de empaque. En las zonas 3, 5 y 2 (producción) se evidenciaron concentraciones entre 1,73 ppm y 5,61 ppm (representadas en color naranja y amarillo). La zonas de mínima concentración del contaminante (0 ppm) se aprecian en color azul y corresponden a la zona 1 (bodega) y 4 (producción).

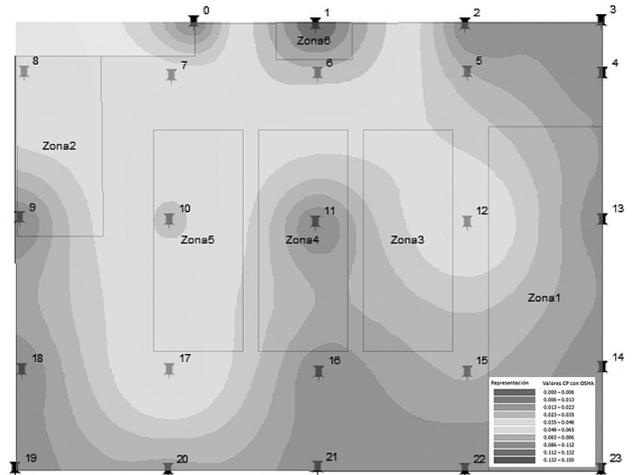
Figura 3. Mapa de isoconcentraciones de CO en el área de estudio.



Los coeficientes de peligro obtenidos a partir del PEL de OSHA se representan en la Figura 4. Estos valores oscilaron entre 0 y 0,15. El valor máximo está representado en color rojo (0,15) y se observó en la zona 6 (donde también se encuentra la mayor concentración de contaminante, correspondiente a 7,5 ppm). Las zonas en amarillo y naranja corresponden a CP con valores entre 0,04 y 0,11 (zonas de producción 2, 3 y 5) y los valores

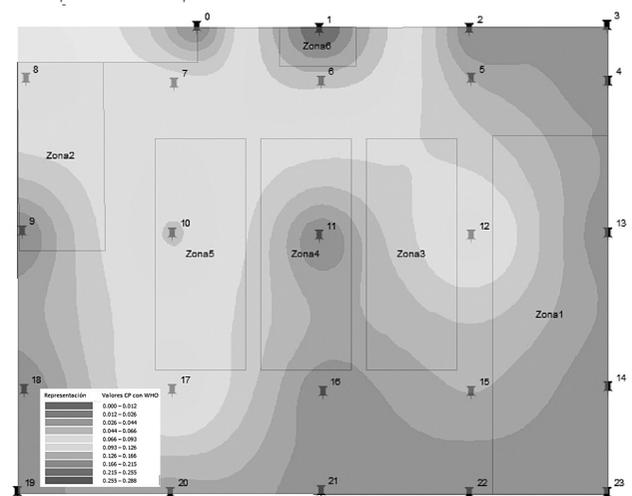
mínimos están representados en tonos de color azul, con valores de CP entre 0 y 0,04.

Figura 4. Mapa de riesgos con los valores límites permisibles de exposición establecidos para el CO por la OSHA.



El mapa de riesgos obtenido a partir de los valores máximos permisibles establecidos por la WHO (Figura 5), presentó un CP entre 0 y 0,29. Los valores máximos están representados en color rojo (0,22 a 0,29 CP) se ubican en la zona 6 (empaque); los colores amarillo y naranja corresponden a valores de CP entre 0,07 a 0,22 y se evidencian en las zonas 2, 3 y 5 (producción) y hacen referencia a un nivel medio en los valores de CP; finalmente, las zonas representadas en tonos de color azul como la zona 1 (bodega de productos terminados) muestran valores de CP que oscilaron en un rango entre 0 y 0,07.

Figura 5. Mapa de riesgos con las directrices establecidas para el CO por la WHO.



## Discusión

La razón por la cual se realizó el cálculo de riesgos con la ecuación 2 en este proyecto, se fundamenta en el hecho de que agencias como la EPA, no han establecido una dosis de referencia o una concentración de referencia para el monóxido de carbono, por eso para el cálculo del coeficiente de peligro se tuvo que trabajar con PELs. También, se asumió que el muestreo de una jornada laboral de 8 horas, hubiera generado resultados muy parecidos a los obtenidos durante las mediciones en una hora, ya que la actividad tanto de las fuentes fijas como de las fuentes móviles de CO, es constante durante toda la jornada laboral.

En el mapa de isoconcentraciones (Figura 6) aunque se evidencia una concentración baja de monóxido de carbono en toda el área de estudio, se observa una mayor concentración del contaminante en la zona 1, se asume que se debe a un proceso de empaque donde se usa un quemador de plástico, que a su vez, se consideraría como la principal fuente fija de monóxido de carbono en el área de estudio. La dispersión del contaminante que se aprecia en las zonas de producción (2, 3 y 5) está asociada a fuentes móviles del contaminante (montacargas) los cuales funcionan con gas propano y gasolina. Adicionalmente, todos los valores de las concentraciones del contaminante que oscilaron entre 0 y 7,5 ppm, se encuentran dentro del rango establecido por las diferentes organizaciones especializadas en salud ocupacional, como la OSHA y la WHO, quienes han establecido como valores promedio máximos permisibles de exposición para una hora, 50 y 26 ppm, respectivamente.

Los coeficientes de peligro (CP) que se observan en el mapa de riesgos de la Figura 7, relacionan las concentraciones de monóxido de carbono muestreadas en los diferentes puntos de la planta con el valor promedio máximo permisible establecido por la OSHA (50 ppm), estos CP oscilaron entre 0 y 0,150, por lo tanto, indican un riesgo aceptable respecto a la exposición a monóxido de carbono, por encontrarse por debajo de 1. En la Figura 8, se observa el mapa de riesgos obtenido a partir de los valores de concentraciones del contaminante sobre el valor promedio máximo permisible establecido por la WHO (26 ppm). Los coeficientes de peligro que se observan en este mapa, estuvieron entre 0 y 0,29, y

también, indicaron un riesgo aceptable de exposición del contaminante como en el caso anterior.

Al comparar los mapas de riesgos obtenidos a partir de los valores promedio máximos permisibles establecidos por la OSHA y la WHO, se puede apreciar una leve diferencia en cuanto a los valores de CP, entre los puntos 7 y 8 y entre los puntos 10 y 17; lo que indica claramente que el mapa de riesgos de la Figura 8 obtenido a partir de los valores de la WHO (cuyo valor es casi la mitad del valor establecido por la OSHA) es más sensible en cuanto al cálculo de riesgos.

Las diferencias que se pueden apreciar entre el estudio realizado por Flores y cols. (2012) [12] y el presente trabajo, radican principalmente en que en el primer estudio, se tomaron los datos en exteriores y no al interior de una industria como en el presente trabajo. Además, la medición de los datos de las concentraciones fue diferente, debido que en el trabajo de Flores, se obtuvo esta información mediante la fotointerpretación de imágenes satelitales obtenidas desde Landsat, que pueden generar un sesgo al emplear imágenes donde se representa un área muy amplia en un solo pixel (30 m) y que no puede asociarse con las condiciones reales del terreno, y en el presente trabajo mediante medición directa del CO.

En Colombia no se ha estudiado ampliamente los análisis de riesgo ocupacional, por lo cual hay una carencia de valores límite umbral orientados a este nivel y se deben utilizar los establecidos por agencias internacionales como la OSHA. Sin embargo, en el presente trabajo, se puede observar que se cumpliría con la resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial [14], en lo que respecta a la concentración de monóxido de carbono en el aire, la cual establece un máximo valor permisible de exposición de CO de 40 mg/m<sup>3</sup> o 35 ppm.

Como se mencionó anteriormente, se decidió realizar un muestreo promedio de una hora al considerarse representativo de toda la jornada laboral. Sin embargo, si se tiene en cuenta la directriz de 9 ppm para CO en una jornada de 8 horas establecidas por la WHO, se podría evidenciar un posible riesgo a la salud en el presente estudio, ya que la máxima concentración de CO obtenida

fue de 7,5 ppm (lo que correspondería a un CP de 0,86), valor que estaría llegando al umbral de lo considerado seguro. También, hay que tener en cuenta que las Dosis y Concentraciones de Referencia establecidas por la EPA para la mayoría de contaminantes son mucho menores que los PELs que manejan agencias como la OSHA, lo que afirmaría que con los valores obtenidos podría haber un riesgo ocupacional por la exposición a CO.

El uso de la técnica de isoconcentraciones a nivel ocupacional, puede ser una herramienta muy adecuada para orientar recursos y tiempo, ya que la observación directa en un mapa, permite analizar la dispersión del contaminante en un área específica y permite definir los puntos críticos de monitoreo, de esta manera se pueden reducir considerablemente los puntos a muestrear durante una jornada laboral. La metodología presentada en este estudio se podría aplicar a otros contaminantes de interés ocupacional, con el fin de realizar un análisis de riesgo y de esta manera tomar acciones orientadas a prevenir, disminuir o controlar el riesgo que afrontan las personas en su medio de trabajo por la exposición a diversas sustancias tóxicas

## Conclusiones

En el mapa de isoconcentraciones se puede observar claramente la dispersión del monóxido de carbono en la zona de estudio, identificándose la zona 6 como un área crítica a incluir en un futuro programa de monitoreo.

Los Coeficientes de Peligro obtenidos a partir de la metodología planteada en este proyecto se encontraron por debajo de uno, lo que indica que el riesgo por la exposición al monóxido de carbono en la zona de estudio es considerado aceptable.

## Bibliografía

- [1] R. Davies, D. C. Buss and P. A. Routledge, "Monóxido de carbono," in *Manual De Toxicología Básica*, E. Mencías and L. M. Mayero, Eds. Madrid: Editorial Diaz de Santos, 2000, pp. 593-595.
- [2] Téllez, Rodríguez and Fajardo, "Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental," *Revista De Salud Pública*, vol. 8, pp. 108-117, 2006.
- [3] ATSDR, "Toxicological profile for carbon monoxide," Department of Health and Human Services., Atlanta: U.S., 2012.
- [4] E. K. Medina-Palacios and L. J. Hernández-Florez, "Protocolo de la vigilancia epidemiológica, y ambiental de la intoxicación aguda por monóxido de carbono," Secretaria Distrital de Salud, Bogotá, 2012.
- [5] J. Ladrón de Guevara, Moya and V., "Carbono y sus compuestos inorgánicos. en: Toxicología médica: Clínica y laboral." in *Toxicología Médica: Clínica Y Laboral*. Anonymous Madrid: Ed. Panamericana, McGraw-Hill, 1995, pp. 204.
- [6] J. A. Téllez-Mosquera., *Aspectos Toxicológicos De La Exposición Ocupacional Y Ambiental Al Monóxido De Carbono*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina, 2008.
- [7] Piantadosi, "Carbon Monoxide Poisoning," *New England Journal of Medicine*, vol. 347, pp. 1054-1055, 2002.
- [8] Amitai Y, Zlotogorski Z, Golan-Katzav V, Wexler A, Gross D., "Neuropsychological Impairment From Acute Low-Level Exposure to Carbon Monoxide," *JAMA Neurology*, vol. 55, 6, pp. 845-848, 1998.
- [9] OMS and OPS, *Criterios De Salud Ambiental 13. Monóxido De Carbono*. Washington, DC, 1980.
- [10] C. E. Peña, D. E. Carter and F. Ayala-Fierro, *Toxicología Ambiental: Evaluación De Riesgos Y Restauración Ambiental*. Arizona: EE.UU.: The University of Arizona, 2001.
- [11] Ministry of Manpower, "A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harmful chemicals," Occupational Safety and Health Division, Singapore, 2005.
- [12] R. M. Flores-Serrano, J. G. Ramos-Hernández, A. A. Castro-Rodríguez and G. Pérez-Casimiro, "Mapa de riesgo para la salud en un área contaminada con hidrocarburos de México," Instituto de Ingeniería, UNAM., México, 2012.

[13] D. D. MacDonald, C. G. Ingersoll and T. A. Berger, “Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems.” *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 39, pp. 20-31, July, 2000.

[14] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, “Resolución 0610,” *Diario Oficial*, Bogotá, 2010.

---

## Los Autores



### Möritz Velásquez Riaño

Ocupación actual: Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad el Bosque.

Amplia experiencia como docente e investigador en las áreas de salud y medio ambiente, biología celular y molecular, microbiología general y ambiental, biotecnología ambiental y microbiología de alimentos. He participado en el diseño curricular de programas como Biotecnología y de líneas de énfasis en Microbiología de Alimentos. En la parte administrativa he sido Director de la Unidad para el Desarrollo de la Ciencia y la Investigación. En el sector privado he trabajado en el área de farmacovigilancia y como asesor en la implementación de la Norma ISO 17025. Soy revisor de la revista inglesa *Water Science and Technology* desde el 2008 y he participado como revisor del Congreso Mundial del Agua de Montreal (Canadá) en 2010 y en Busan (Corea del Sur) en 2012.



### José Luis Buitrago Buitrago

Ingeniero Ambiental de la Universidad El Bosque, en el 2014 apoyando el área de Seguridad Industrial y Control Ambiental para una multinacional de productos de consumo, realizando medición, control y manejo de contaminantes ambientales. Pregrado: Universidad el Bosque de Colombia. Carrera de Ingeniería Ambiental.