

Calidad microbiológica y fisicoquímica del aire en tres laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia

Neyma García^{1*}, Ismenia Araujo², Mayli Fernández¹, Willy Salcedo¹, Carmen Cárdenas², Janice Fernández³, Lenín Herrera², Suher Yabroudi² y Nancy Angulo²

¹Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia. ²Centro de Investigación del Agua (Laboratorios de Microbiología Industrial e Ingeniería Ambiental), Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia-Maracaibo, Venezuela. ³Instituto de Higiene y Salud Ocupacional, Facultad de Medicina, La Universidad del Zulia-Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela

Recibido: 08-03-04 Aceptado: 01-06-05

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar cualitativa y cuantitativamente la calidad del aire interior de tres ambientes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia; tomando como indicadores la presencia de bacterias, polvo total y respirable, contenido de plomo y sílice, conjuntamente con la evaluación de agentes físicos como humedad, temperatura y distribución del aire. Los análisis se realizaron en el Centro de Investigación del Agua y los resultados obtenidos fueron comparados con límites de exposición permisibles recomendados en las normas respectivas de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) y con valores reportados en estudios previos similares. En todas las áreas seleccionadas el nivel promedio de microorganismos recolectados excedió a 10^4 UFC/m³, valor referenciado como admisible en ambientes de interiores. La concentración permisible para polvo total de 10 mg/m³ y el límite recomendado para la fracción respirable de 3 mg/m³ no fueron excedidos en ninguno de los espacios estudiados. En cuanto a las concentraciones de los metales pesados plomo y sílice, ninguna de las áreas seleccionadas excedió el límite recomendado como permisible de 0,10 mg/m³ y 0,05 mg/m³ respectivamente. Los parámetros físicos medidos se encontraron dentro de los niveles recomendados con excepción de la humedad relativa, la cual superó el 60% en todos los ambientes. La mayor concentración de bacterias, polvo real y polvo respirable, sílice y plomo se presentó en el Laboratorio de Carbón.

Palabras clave: Aire polución; bacterias; humedad relativa; fracción respirable; polución; plomo; polvo total; sílice.

* Autor para la correspondencia. E-mail: neymagarcia5@hotmail.com.

Microbiological and physical-chemical air quality in three Engineering Faculty laboratories at the University of Zulia

Abstract

This research evaluates qualitative and quantitatively the quality of the air inside the Coal Laboratory, the Corrosion Studies Center, and the Industrial Food and Fermentation Technology Laboratory in the Engineering Faculty at the University of Zulia, using as indicators the presence of bacteria, total and breathable dust, lead and silica contents, together with an evaluation of physical agents such as humidity, temperature, and air distribution. The results were compared with the permissible exposure limits recommended by the Venezuelan Industrial Norms Commission (COVENIN), the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) and with values reported in previous studies of this type. In all areas studied the average level of micro-organisms collected were exceeded by 10^4 Colony Forming Units (UFC)/ m^3 the dust reference value considered admissible for interior environments. The permissible dust concentration of $10\text{ mg}/m^3$ and the recommended limit for the breathable fraction of $3\text{ mg}/m^3$, were not surpassed in any of the spaces studied. In relation to concentrations of heavy metals, lead and silica, none of the selected areas exceeded the recommended permissible limits of $0.10\text{ mg}/m^3$ for lead and $0.05\text{ mg}/m^3$ for silica. The physical parameters studied were all within recommended levels with the exception of relative humidity, which was over 60% in every one of the sites. The Coal Laboratory showed higher values compared to the other two

Key words: Air pollution, bacteria, breathable fraction; lead; relative humidity; silica; total dust.

Introducción

El grado de contaminación presente en ambientes interiores es la causa de muchos de los múltiples problemas de variada naturaleza que pueden abarcar desde una simple fatiga o incomodidad, hasta síntomas compatibles con alergias, enfermedades respiratorias, infecciones y cáncer, entre otras (1, 2). Existen instituciones como la Agencia de Protección del Medioambiente (EPA) y la Agencia Federal de Salud e Higiene Ocupacional (OSHA) que tienen en su haber métodos estándares para el muestreo y monitoreo de factores de riesgo dentro de la industria que puedan afectar la salud de los operarios y empleados en general dedicadas a aspectos relacionados a la salud e higiene industriales en ambientes ocupacionales e

instituciones y grupos de trabajo como Atlantic Environmental, INC. Y Polaroid Corporation-Waltham, MA. que han desarrollado un amplio conocimiento en identificación y corrección de problemas de ambientes internos, con excelentes resultados y manteniendo costos razonables (3).

Según estimaciones de la Agencia de Protección Ambiental estadounidense los niveles de contaminación en ambientes cerrados pueden llegar a ser de 10 a 100 veces más elevados que las concentraciones exteriores (4), lo cual aunado a las condiciones operativas no adecuadas de sistemas de ventilación y recirculación de aire, refrigeración y/o calefacción, hacen prever un problema potencial de la calidad del aire dentro de dichos espacios (1).

Existen suficientes indicios de que en áreas de oficinas, laboratorios, almacenaje y servicios generales coexisten sustancias capaces de alterar sus propiedades físico-químicas y proveer las condiciones necesarias para el desarrollo y crecimiento de microorganismos que alteran las propiedades biológicas del aire lo cual puede originar efectos nocivos sobre la salud de las personas y sobre los materiales dependiendo de la concentración y permanencia de estas sustancias en el ambiente (5-7).

En esta investigación se evaluó la calidad microbiológica y fisicoquímica del aire en el Centro de Estudios de Corrosión, los Laboratorios de Carbón y Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, donde se determinó la presencia de bacterias, polvo total y respirable, y su contenido en plomo y sílice, en virtud de la importancia que revisten por las actividades que se desarrollan en dichos espacios y la incidencia sobre la salud humana, la infraestructura física y sus bienes materiales.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio exploratorio y se ubicaron las áreas críticas, capacidad de los espacios, definición y ubicación de las corrientes de aire (cambios en velocidad y dirección), actividades realizadas en los ambientes seleccionados, en virtud de la complejidad y dificultad inherente a toda la manipulación de muestras conformadas por organismos vivos (bacterias) y su posible efecto en las personas que permanecen en los sitios seleccionados durante una jornada típica de trabajo. Se realizaron determinaciones microbiológicas y físico-químicas durante el período Julio a Diciembre del 2001.

Evaluación Microbiológica

Los puntos de muestreos se establecieron en función del área y volumen ocupados por cada laboratorio: tres puntos de mues-

treo para el laboratorio de carbón y cuatro para los otros dos laboratorios. El número de muestreos para cada punto fue: una muestra por la técnica de filtración con membrana (FM) y dos utilizando el dispositivo de trampa líquida (DTL); ello generó un total de once y veintidós muestras quincenales respectivamente durante cinco meses.

La recolección de las muestras de aire por la técnica de DTL se realizó utilizando una bomba de succión (Embraco FF 7,5 BKW), un medidor de flujo, previamente calibrado, tipo rotámetro (Meter Tube, Lab Crest dib F&P Co), una válvula reguladora de flujo y una fiola como dispositivo colector cargado con el medio líquido de infusión cerebro-corazón. El aire se hizo burbujear durante diez minutos a través de la infusión, la cual contenía los nutrientes necesarios para favorecer el desarrollo bacteriano; el caudal de aire muestreado fue establecido en 1,4 l/min (8). El líquido colector fue sembrado en placas de Petri que se sometieron a incubación durante 48 horas a una temperatura de 38°C, cuando se procedió al contaje de bacterias (5, 9).

En la aplicación de la técnica FM se utilizaron: filtros de acetato de celulosa de 25 mm de diámetro y 0,2 micras de porosidad, un soporte para filtro (tipo *swinex*) y una jeringa de 60 mL. Los microorganismos fueron colectados directamente sobre la superficie de la membrana de celulosa, la cual se colocó en placas de Petri sobre un medio enriquecido de agar cerebro-corazón. Las placas fueron incubadas durante 48 horas a una temperatura de 38°C, para su contaje (5, 9).

Evaluación fisicoquímica

Para la evaluación del polvo (total y respirable) y su contenido en plomo y sílice las muestras se analizaron por el método gravimétrico, basado en la diferencia de pesadas (10-15). Se captaron dieciocho muestras integradas durante un período de 2 a 8 horas, utilizando bombas de muestreo personal FIX-FLOW, con unidad de captación para

polvo total y polvo respirable (partículas con diámetro <5 micras), empleando filtros de cloruro de polivinilo (PVC) de 37 mm de diámetro, y porosidad de 5 micras. El equipo se calibró para un flujo de 1,5 l/min para polvo total y 1,7 l/min para polvo respirable. Los filtros fueron pesados antes y después del muestreo en una balanza analítica de precisión; y la concentración de cada tipo de polvo se calculó como el peso acumulado por volumen de aire muestreado expresado en mg/m³. Las muestras recolectadas de polvo total y polvo respirable fueron sometidas a digestión para la determinación de plomo y sílice, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica de llama y un espectrofotómetro de absorción visible respectivamente (13, 14, 15, 16).

En cada una de las áreas bajo estudio, los parámetros físicos como registro de humedad relativa, temperatura de bulbo húmedo y seco fueron medidos utilizando un sicrómetro (ISL Modelo IGRIST ISN/b) y para la velocidad de circulación del aire, se utilizó un anemómetro Alnor, modelo 8100 (16).

Resultados y Discusión

Los resultados de las determinaciones microbiológicas aplicando las técnicas de DTL y FM en el Laboratorio de Carbón, Centro de Estudios de Corrosión y Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales se presentan en la Tabla 1.

Aunque los valores obtenidos por la técnica de DTL resultaron superiores a los obtenidos por la técnica de FM (Figura 1) en la mayoría de las muestras procesadas, las diferencias encontradas podrían atribuirse principalmente a que la técnica DTL presenta mayores riesgos de contaminación de las muestras o de modificar la densidad poblacional bacteriana y/o por la manipulación en el montaje de la técnica de conteo durante el traslado al laboratorio para su análisis. La utilización de un medio líquido (DTL) generalmente facilita el crecimiento de las cepas bacterianas; sin embargo, existen ventajas

Tabla 1
Rango y promedio () de densidad poblacional de los microorganismos en los ambientes seleccionados.

Ambiente	Densidad Bacteriana 10 ⁴ UFC/m ³	
	DTL	FM
LC	5,59 – 10,12 (8,18 ± 2,74)	3,15 – 8,33 (6,12 ± 4,72)
CEC	3,78 – 5,54 (4,84 ± 0,56)	2,50 – 5,00 (3,75 ± 0,66)
LATAFI	2,67 – 5,54 (3,95 ± 0,74)	2,50 – 4,58 (3,26 ± 0,68)

DTL: Dispositivo de Trampa Líquida. FM: Filtración con Membrana. LC: Laboratorio de Carbón. CEC: Centro de Estudios de Corrosión. LATAFI: Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales.

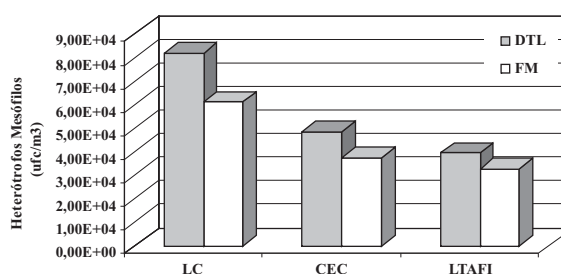


Figura 1. Densidad poblacional bacteriana aplicando las técnicas de Filtración por Membrana (FM) y Dispositivo de Trampa Líquida (DTL) en el Centro de Estudios de Corrosión y los Laboratorios de Carbón (LC) y Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales (LATAFI).

comparativas del monitoreo por FM con respecto a la técnica DTL debido a que en FM: el equipo requerido para la operación funciona como un tren de muestreo supercompacto, en el cual los componentes (dispositivo de entrada, medidor de flujo, sustrato de colección, fuente de vacío) están contenidos en la

jeringa; la técnica es portátil, poco costosa, y menos sensible a posibles esfuerzos mecánicos y térmicos; la técnica es muy sencilla y operable, aún en lugares que no dispongan de una infraestructura física o de apoyo (ejemplo: servicio eléctrico). Por ello, la filtración con membrana resultó la técnica de toma de muestra más adecuada para la evaluación microbiológica del aire en el interior de las áreas estudiadas.

Al comparar las concentraciones de microorganismos obtenidas en cada uno de los ambientes estudiados, se evidenció que, independientemente de la técnica de recolección empleada, los mayores valores de densidad poblacional de microorganismos fueron obtenidos en el Laboratorio de Carbón con valores promedios de 8,18 y $6,12 \times 10^4$ UFC/m³ para DTL y FM respectivamente, seguido en orden decreciente por el Centro de Estudios de Corrosión con promedios de 4,84 y $3,75 \times 10^4$ UFC/m³ y el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales con promedios $3,95$ y $3,26 \times 10^4$ UFC/m³ para DTL y FM respectivamente. El conteo de microorganismos en el Laboratorio de Carbón resultó de 1,6 a 2 veces superior a los alcanzados en los otros dos laboratorios (Tabla 1, Figura 2). El promedio del recuento total de bacterias considerando ambas técnicas de muestreo abarcó un rango de $3,26 \times 10^4$ a $8,18 \times 10^4$ UFC/m³ de aire, con una media de $5,72 \times 10^4$ UFC/m³ de aire. Al comparar estos valores con el valor sugerido por Jjemba ($\leq 10^4$ UFC/m³ de aire), en su trabajo *Bacterial aerosol in indoor air* (1989) para ambientes interiores (17), se evidenció que los ambientes seleccionados para este estudio presentaron valores más altos de densidad bacteriana. El Laboratorio de Carbón presentó igualmente los valores más altos de humedad relativa y hacinamiento de equipos y materiales brindando mejores condiciones para el desarrollo bacteriano.

La concentración en el aire de 7.200 UFC/m³ de bacterias equivalentes a 30 mg/m³ de concentración de endotoxinas

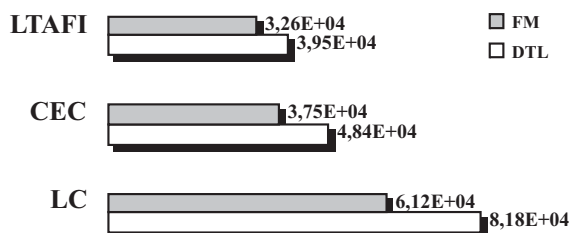


Figura 2. Promedios de densidad poblacional bacteriana en UFC/m³ aplicando las técnicas de Filtración por Membrana (FM) y Dispositivo de Trampa Líquida (DTL) en el Centro de Estudios de Corrosión y los Laboratorios de Carbón (LC) y Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales (LTAFI).

ha sido propuesta como el límite de exposición ocupacional para bacterias Gram-negativas, el cual generalmente es inferior a las Gram-positivas (18); principalmente por que éstas son más resistentes a la desecación por poseer una pared celular más gruesa y más rígida; las más resistentes dentro de este grupo son las formadoras de esporas, sin embargo, éstas últimas no pasan fácilmente de una persona a otra (19). En esta investigación se encontraron ambos tipos de bacterias y las Gram-negativas se presentaron en menor proporción. Un aula polvosa, con poca ventilación en un edificio viejo puede contener 700 bacterias/m³ (20). El rol del aire en la transmisión de microorganismos y otras sustancias nocivas para la salud especialmente en los hospitales donde los huéspedes están inmunocomprometidos (21). A nivel nacional e internacional los valores recomendados en medios hospitalarios son: Quirófanos en general, <70 UFC/m³; quirófanos de transplante, <10 UFC/m³; unidad de transplante de médula ósea, <1 UFC/m³ (21). Según la asociación española de ingeniería hospitalaria los valores admisibles para la flora aerobia son: muy limpio, <10 UFC/m³; limpio, 10 a 100 UFC/m³; aceptable, 100 a 200 UFC/m³ (22). Las enfermedada-

des respiratorias transmitidas por el aire son contagiadas por los patógenos que portan los núcleos minúsculos (moco remanente después que las gotas aerosoles se deshidratan), los cuales se suspenden de nuevo y el aire los hace circular, el polvo los acarrea, o vuelven a circular a través de sistemas de ventilación inadecuados (7). Las únicas partículas que pueden penetrar hasta el sistema respiratorio inferior son la que poseen un tamaño entre 0,1 y 1 micra; dentro de este rango se pueden considerar incluidos los virus, esporas fúngicas y bacterias individuales (7). En experimentos realizados en hospitales la reducción del 50 al 70% en el número de bacterias presentes no produjo una disminución significativa en las infecciones (7) por lo que es necesario que la disminución del número de bacterias en el aire sea drástica para prevenir la aparición de infecciones, para ello se requiere un sistema eficiente de ventilación y filtración, evitar el hacinamiento y aplicar medidas de monitoreo y control en función de la actividad que se realice.

Evaluación Físicoquímica

Evaluación Física

La cuantificación del riesgo potencial en ambientes de trabajo se basa en la determinación de la exposición y su comparación con los límites establecidos tanto en la normativa legal venezolana (Comité Nacional de Normas Industriales, COVENIN) como en las regulaciones internacionales (National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH) y American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH) (12, 13, 14, 15).

La productividad y adecuado desempeño físico y mental en el trabajo dependen mucho de la existencia de un ambiente confortable, resultante de un control simultáneo de agentes físicos y químicos. Un resumen de los resultados obtenidos durante la evaluación fisicoquímica es mostrado en la Tabla 2. Entre los agentes físicos están la humedad, temperatura y distribución del

aire. La Figura 3 muestra los valores de temperatura de bulbo seco en los laboratorios de Carbón, Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales y Centro de Estudios de Corrosión, observándose el menor valor de 23,9°C en el Laboratorio de Alimentos y el mayor valor de 27,6°C en el Laboratorio de Carbón, estos valores, a su vez, son inferiores a 31°C, valor referenciado como límite permisible de exposición en lugares de trabajo (23). En la Figura 4, se indican el comportamiento de la temperatura de bulbo húmedo en los tres laboratorios, en este caso el valor más alto se registró en el Laboratorio de Carbón con 24,2°C y el más bajo en el Laboratorio de Alimentos de 19,7°C, siendo estos valores inferiores a 27°C referenciado como límite permisible de exposición en lugares de trabajo (23).

Los valores de la humedad relativa en los tres laboratorios estudiados se presentan en la Figura 5. El Centro de Estudios de Corrosión y el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales presentaron valores semejantes entre 71,2 y 69,4% de humedad relativa. Con respecto al Laboratorio de Carbón se puede apreciar que la humedad relativa para el muestreo del mes de octubre fue de 65,2%, la primera quincena del mes y 77,2% la segunda quincena. La humedad relativa superó en todos los casos el 60% permisible (24).

La Figura 6 muestra los valores correspondientes a la velocidad de aire en los laboratorios monitoreados, evidenciándose para todos los casos un comportamiento uniforme en los laboratorios, con valores entre 15,24 m/min y 17,91 m/min. Las mediciones de la velocidad del aire en movimiento son comúnmente usados como factor ambiental en la evaluación de una posible fatiga calórica (23). Según ACGIH, la velocidad del aire no debe ser superior a 0,3 m/seg para evitar turbulencias en el ambiente (22). En esta investigación las velocidades del aire en los ambientes seleccionados fueron menores al valor referenciado por la ACGIH, por lo que se puede afirmar que los medios

Tabla 2
Promedio de los valores de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los laboratorios seleccionados

Parámetro	Carbón	Corrosión	Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales
Polvo Total (mg/m ³)	2,73 (1,34)	1,17 (0,42)	0,58 (0,15)
Polvo Respirable (mg/m ³)	2,05 (0,03)	0,90 (0,27)	0,26 (0,01)
Sílice cristalina (mg/m ³)	3,47x10 ⁻² (2,00x10 ⁻²)	-	ND
Plomo (mg/m ³)	-	2,59x10 ⁻² (1,36x10 ⁻²)	-
Temperatura de Bulbo Seco (°C)	27,28 (0,29)	25,68 (0,50)	23,92 (0,08)
Temperatura de Bulbo Húmedo (°C)	22,98 (1,26)	21,42 (0,33)	19,80 (0,1)
Humedad Relativa (%)	71,18 (6,56)	70,10 (0,75)	70,13 (0,64)
Velocidad del aire (m/min)	15,24	15,24	17,15

(): Desviación estándar. ND: No detectable.

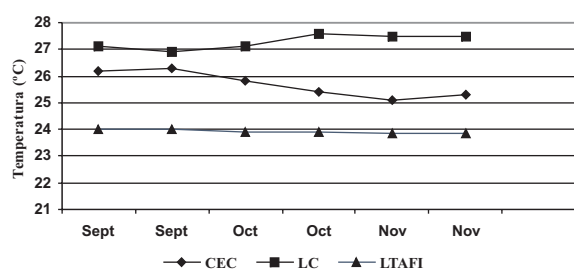


Figura 3. Temperatura de bulbo seco en el Laboratorio de Carbón (LC), el Centro de Estudios de Corrosión(CEC) y el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales (LTAFI).

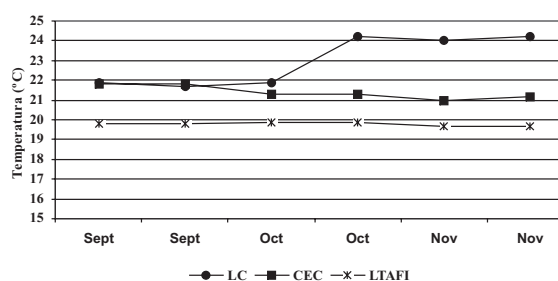


Figura 4. La temperatura de bulbo húmedo en el Laboratorio de Carbón (LC), el Centro de Estudios de Corrosión (CEC) y el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales (LTAFI).

de ventilación artificial de los ambientes evaluados se encontraban operando apropiadamente.

En general puede afirmarse para los tres laboratorios estudiados que: tanto las temperaturas de bulbo seco como las de bulbo húmedo, resultaron inferiores a 31 °C

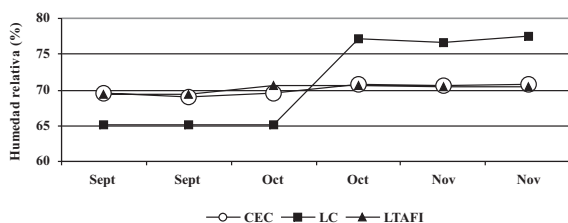


Figura 5. La humedad relativa en el Laboratorio de Carbón (LC), el Centro de Estudios de Corrosión (CEC) y el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales (LTAFI).

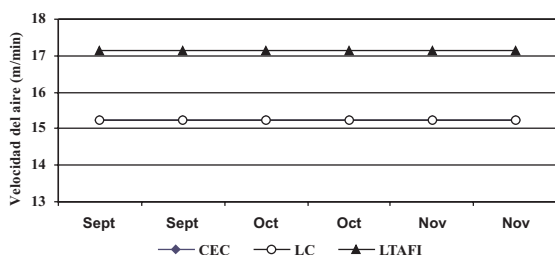


Figura 6. Velocidad del aire en el Laboratorio de Carbón (LC), el Centro de Estudios de Corrosión (CEC) y el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales (LTAFI).

y 27°C respectivamente, valores referenciados como límites permisibles de exposición en lugares de trabajo (11); mientras los valores de humedad relativa superaron en todos los casos al rango referenciado como permisible 30% - 60% (24) en todo caso, bajo estas condiciones térmicas y de humedad, se favorecería el crecimiento en el ambiente de microorganismos aerobios mesófilos. Las mediciones de velocidad del aire en movimiento son comúnmente usados como factor ambiental en la evaluación de una posible fatiga calorífica (23) en virtud de que podrían influenciar el intercambio de calor por evaporación y convección en los trabajadores que ejecutan actividades en las áreas

diagnosticadas. Según la ACGIH la velocidad del aire no debería ser superior a 0,3 m/seg (18 m/min) para evitar turbulencias en el ambiente (22).

En el presente estudio las velocidades del aire fueron en todo momento menor a este valor referenciado por la ACGIH, por lo que se puede afirmar que los medios de ventilación artificial se encuentran operando apropiadamente. En conclusión, en los ambientes estudiados existen condiciones físicas adecuadas para el desempeño del personal que allí labora.

Evaluación química

La Norma Covenin N° 2253 - 97 "Concentraciones ambientales permisibles en lugares de trabajo", establece como límite máximo de exposición para polvos molestos, una concentración promedio ponderada de 10 mg polvo total /m³ de aire durante 8 horas diarias. Las mayores concentraciones individuales y promedio fueron exhibidas por el Laboratorio de Carbón ($2,73 \pm 1,34$ mg/m³) y las concentraciones más bajas por el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales ($0,58 \pm 0,15$ mg/m³); esto se puede atribuir al tipo de actividades que se llevan a cabo en este laboratorio en comparación con los otros dos, tales como el tamizado de cenizas volantes (FLY ASH) y molienda de carbón que generan mayor cantidad de polvo en el ambiente. Es conveniente destacar que las tomas de las muestras en el Laboratorio de Carbón fueron efectuadas cuando se realizaban operaciones de tamizado de cenizas volantes (FLY ASH) las cuales involucraron cantidades variables entre 6 y 15 Kg de cenizas (Figura 7). La mayor concentración de polvo total se obtuvo en el Laboratorio de Carbón para la muestra número 3, en concordancia con el hecho de que ese día se reportó la mayor operación en el tamizado de las cenizas.

En conclusión, la totalidad de las muestras evaluadas reportan concentraciones de polvo total muy por debajo de los lími-

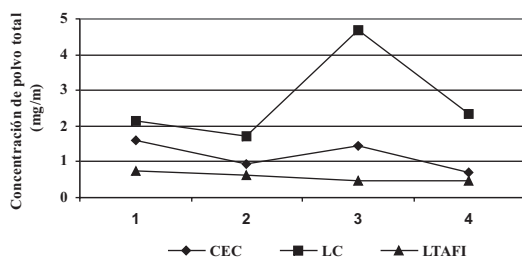


Figura 7. Concentración de polvo total en el Laboratorio de Carbón (LC), el Centro de Estudios de Corrosión(CEC) y el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales (LTAFI).

tes máximos permisibles tanto nacional como internacionalmente (10, 12, 13). El Laboratorio de Carbón presentó las más altas concentraciones de polvo respirable superando de esta manera a los otros dos laboratorios, con un valor de $2,05 \pm 0,03 \text{ mg/m}^3$, no excediendo ninguno de los valores reportados el límite permisible de exposición (3 mg/m^3) (11). La sílice cristalina (cuarzo) no pudo evidenciarse en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales en el 100% de las muestras evaluadas, cuyos valores fueron inferiores al límite de detección (15); mientras que para el Laboratorio de Carbón, aunque se reportaron niveles detectables, se determinó un promedio de $3,47 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$, valor muy inferior al límite COVENIN de exposición permisible ($0,1 \text{ mg/m}^3$) (11). Asimismo, en virtud de los procedimientos rutinarios de preparación de las velas de plomo en el Centro de Estudios de Corrosión, los cuales conllevan a la manipulación de plomo en polvo y posterior impregnación, en la Tabla 2 se presentan los niveles obtenidos para plomo en polvo total para dicho laboratorio, abarcando un rango de $0,15 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$ a $4,31 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$ para un promedio aritmético de $2,59 \times 10^{-2} \text{ mg/m}^3$. Nuevamente se evidencia que ninguno de los valores excede el límite permisible COVENIN, $0,05 \text{ mg/m}^3$ aire; ni las regulaciones internacionales estipula-

das por la OSHA, $0,05 \text{ mg/m}^3$ aire; NIOSH, $0,1 \text{ mg/m}^3$ aire y la ACGIH, $0,15 \text{ mg/m}^3$ aire (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16).

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que la técnica de Filtración con Membrana constituyó la técnica más adecuada para la evaluación microbiológica en el interior de las áreas estudiadas, ya que es muy sencilla, poco costosa, y presenta menores riesgos de contaminación al momento de su traslado y posterior análisis aunque su sensibilidad fue menor que la ofrecida por la técnica de Dispositivo de Trampa Líquida.

Independientemente de la técnica aplicada, en todos los casos, la mayor concentración promedio de bacterias fue obtenida para el Laboratorio de Carbón, seguido en orden decreciente por el Centro de Estudios de Corrosión y por el Laboratorio de Tecnología de Alimentos y Fermentaciones Industriales, debido a que las operaciones que se realizan en dicho laboratorio no exigen niveles extremos de limpieza.

La existencia de múltiples factores que influyen en la medición de bioaerosoles y la heterogeneidad en la normativa de calidad del aire en ambientes interiores, dificultan el establecimiento de lo que puede considerarse como aceptable en estos tipos de ambientes.

Los laboratorios estudiados exhibieron niveles promedio del recuento total de bacterias más elevados ($> 10^4 \text{ UFC/m}^3$) que los reportados en estudios previos y la evaluación fisicoquímica reveló que el Laboratorio de Carbón reportó los valores más altos de polvo total y polvo respirable; sin embargo, ninguno de los espacios seleccionados excedió la capacidad ambiental permisible (para polvo total y polvo respirable), referenciadas en la Norma Venezolana Covenin y las internacionales ACGIH y NIOSH.

El Laboratorio de Carbón presentó los valores más altos de sílice y ninguno de los

tres laboratorios excedió la capacidad ambiental permisible para sílice y plomo, referenciados en la Norma COVENIN y en las internacionales ACGIH y NIOSH.

Los parámetros físicos estudiados, temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, humedad relativa y velocidad del aire, en general, se encontraron dentro de los niveles recomendados con excepción de la humedad relativa; ésta última superó en todos los ambientes el límite superior permisible de 60%, lo cual pudiese explicar el ligero incremento de microorganismos detectados.

Agradecimiento

Al Centro de Investigación del Agua de la Facultad de Ingeniería y al Instituto de Higiene y Salud Ocupacional de la Facultad de Medicina de La Universidad del Zulia por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo

Referencias Bibliográficas

1. Calidad del Aire de Interiores. 1999. www.tabaquismo.freehosting.net.
2. Indoor Air Quality (IAQ). 1999. www.indoorair.htm
3. Polaroid Corporation-Waltham, MA. December 1999. www.polar-36.htm
4. **UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**: Indoors Air Quality Coordinators Guide-Appendix E-Typical Indoor Air Pollutants. Created: March 23, USA, 1998.
5. BURDON A.; KENNETH L; WILLIAMS R. **Microbiología**., Primera Edición, México, pp. 127-131, 1974.
6. CORDOVA Y. **Calidad del aire en ambientes interiores: Contaminantes Biológicos. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas (Venezuela), pp. 63-70, Junio de 2000.
7. HENRY G., HEINKE G. **Ingeniería Ambiental. Segunda Edición**. México, pp. 288-290, 492-509, 1999.
8. LEDBETTER J. *Air Pollution. Part A: Analysis*. Merce Dekker Inc. New York (USA), pp. 43-48, 1972,
9. KERR T. *Applications in General Microbiology: A Laboratory Manual*. Hunter Publishing Company. Second Edition, Georgia (USA) pp 19-51, 1981.
10. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN): Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición Norma COVENIN No 2253-97, Venezuela, 1997.
11. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN): Polvo: Determinación de la concentración en ambientes de trabajo. Norma COVENIN No 2252-98, Venezuela, 1998.
12. NIOSH MANUAL OF ANALYTICAL METHODS (NMAM): Particulates not otherwise regulated, Total, Fourth Edition, 15 de Agosto, USA, 1994.
13. NIOSH MANUAL OF ANALYTICAL METHODS (NMAM): Particulates not otherwise regulated, Respirable Fourth Edition, 15 de Agosto, USA, 1994.
14. NIOSH MANUAL OF ANALYTICAL METHODS (NMAM): Lead by Flame AAS Fourth Edition, 15 de Agosto, USA, 1994.
15. NIOSH MANUAL OF ANALYTICAL METHODS (NMAM): Silica, crystalline by VIS. Fourth Edition, 15 de Agosto, USA, 1994.
16. OSHA TECHNICAL MANUAL. Section III. Chapter II: Indoor Air quality Investigation. 2.002. www.otm-iii-2.htm.
17. JJEMBA P. **Environmental Microbiology. Principles and Applications**. Science Publisher Inc. USA. pp. 235-255. 1.989.
18. LAITINEN S., NEVALAINEN A., KOTIMAA M., LISIVUORI J., MATIKAINEN P. **Applied Environmental Microbiology** 58: 3774-3776, 1992.

19. MADIGAN M., MARTIKO J. **Biología de los Microorganismos**. Editorial Prentice-Hall, Octava Edición, Madrid (España), pp. 902-921, 1998.
20. BRYAN A., BRYAN CH., BRYAN CH. **Bacteriología**, Editorial CECSA, Segunda Edición, México, pp. 503-509, 1974.
21. GARRAHAN J. **Control del Aire en los Hospitales** Buenos Aires (Argentina), pp. 23-32, 2002.
22. MONGE J. **Contaminación Ambiental en zonas de Riesgo hospitalarios**, Madrid (España), pp. 1-9, 2000.
23. PANUNZIO R., AMELIA P. Evaluación Ambiental de factores de riesgo en una Industria Cementera del Estado Zulia. Instituto de Medicina del Trabajo e Higiene Industrial. Facultad de Medicina, Universidad del Zulia, pp. 1-87, 2000.
24. BEHAR ALBERTO. Calidad del Aire en ambientes de trabajo Administrativos. 4° Congreso Argentino de Seguridad, Trabajo, Medioambiente y Comunidad. Argentina, 1998. www.reunion-adm.com/numeros/92/nota20.htm