

EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TÓNER USADO EN FOTOCOPIADORAS. SU RELACIÓN CON LOS TRABAJADORES Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN

María Elena Talavera Núñez¹, María Ofelia Guillén Zevallos²

RESUMEN

Los contaminantes ambientales constituyen un factor de riesgo para desarrollar enfermedades en salud ocupacional; la exposición y los efectos de la contaminación por metales pesados como el plomo y cromo, son situaciones que tienen varios antecedentes.

En el presente trabajo se cuantifican los metales pesados presentes en el tóner, por espectrofotometría de absorción atómica; luego teniendo en cuenta estos resultados, se estudió el efecto del plomo y cromo en los trabajadores de fotocopiadoras, evaluando a personas expuestas de ambos sexos (n=39) y en un grupo de personas de ambos sexos no expuestas ocupacionalmente (n=38), mediante las siguientes determinaciones: hemoglobina por el método de la formación de cianometahemoglobina, haciendo las lecturas por espectrofotometría visible; hematocrito por el método del tubo capilar; plomo y cromo en sangre por espectrofotometría de absorción atómica.

Los resultados obtenidos nos permitieron concluir que el tóner contiene los siguientes metales pesados: Pb, Cr, Fe, Zn, Cd, Cu. La presencia de estos metales afecta la hemoglobina de los trabajadores, ya que haciendo la medición se encuentra un valor bajo: 13,53 g/dl, siendo el valor normal entre 14,3 a 17,0 g/dl; el valor de hemoglobina del grupo control se encuentra más alto: 14,42g/dl. Asimismo, los datos obtenidos de plomo y cromo en sangre de los trabajadores superan el nivel máximo admitido para trabajadores expuestos que son de 30ug/dl para el plomo y de cromo que es 5 ug/dl. Al realizar el Sistema de Gestión Ambiental se encuentra que en la evaluación del impacto ambiental producido por este proceso, de acuerdo a la Matriz de Leopold, existen los siguientes factores impactados negativamente en orden de importancia: alteración de la salud y seguridad, calidad del aire, alteración de la capa superficial del suelo, alteración de las áreas antrópicas. Por lo cual se ha propuesto un programa de gestión ambiental que incluye medidas de mitigación para el primer factor impactado que es alteración de la salud y seguridad, proponiendo que use las medidas de seguridad como: uso de mandil, mascarillas, guantes, etc. Y que el trabajador se exponga como máximo un año a esta actividad.

Palabras clave: tóner, metales pesados, usuarios.

EVALUATION OF HEAVY METALS IN THE TONER USED IN PHOTOCOPIERS IN THE CITY OF AREQUIPA

ABSTRACT

Environmental contaminants are a risk factor for developing diseases, occupational health; exposure and the effects of pollution by heavy metals such as lead and chromium are several situations that have a history.

¹ Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Naturales y Formales. Unidad de Postgrado. Departamento Académico de Química. Martal7@hotmail.com. Mariaogz@yahoo.es

In this paper, it quantifies the heavy metals present in the toner, by atomic absorption spectrometry, after taking into account these results, the effect of lead and chromium in workers of photocopiers, assessing people exposed to both sexes (n = 39) and in a group of persons of both sexes not exposed occupationally (n = 38), through the following determinations: hemoglobin by the method of forming cyanmethaemoglobin, with readings by visible spectrophotometry, hematocrit by the method of capillary tube, lead and chromium in blood by atomic absorption spectrometry. The results enabled us to conclude that the toner contains the following heavy metals: Pb, Cr, Fe, Zn, Cd, Cu. The presence of these metals affects the hemoglobin of workers since making the measurement is a low value: 13.53 g / dl, being the normal value between 14.3 to 17.0 g / dl; the value of hemoglobin control group is higher: 14.42 g / dl. Also the data obtained from lead and chromium in the blood of workers exceed the maximum allowable level for workers who are exposed to 30ug/dl for lead and chromium that is 5 ug / dl. In conducting the environmental management system is that the environmental impact assessment produced by this process, according to Matrix of Leopold, the following factors negatively impacted in order of importance: a change in the health and safety, air quality, alteration of the surface layer of soil, alteration of the areas. It has been proposed an Environmental Management Program that includes mitigation measures for the first factor is that change impacted the health and safety, by proposing to use safety measures such as: use of apron, masks, gloves, etc. And the employee is maximum one year to expose this activity.

Key words: toner, heavy metals, users.

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes ambientales constituyen un factor de riesgo para desarrollar enfermedades; muchos de ellos contribuyen a afecciones multifactoriales. El plomo es considerado, desde hace décadas, uno de los contaminantes ambientales más importantes; es un tóxico acumulativo, por lo que se le vincula con enfermedades crónicas^{1,2}.

Los principales mecanismos de acción tóxica del plomo se vinculan a la inhibición de enzimas sulfhídricas cuya manifestación más importante es la alteración de la síntesis del grupo hemo³. Esta alteración afecta no solamente la síntesis de la hemoglobina sino otras hemoproteínas, como los citocromos que influyen en la función renal y neurológica. La alteración cardiovascular: hipertensión arterial, se vincula al incremento de la reactividad vascular causada por el plomo mediante el aumento de la concentración de calcio intracelular y la estimulación de la calmodulina⁴.

El avance de la tecnología nos trae beneficios y también problemas, uno de estos sería la contaminación del ambiente por el uso indiscriminado de fotocopiadoras, las cuales emplean un pigmento llamado tóner, que contiene metales pesados. El trabajador de las fotocopiadoras está expuesto a este tipo de contaminación, que se produce por la manipulación o en el mantenimiento de la fotocopiadora. La cual se puede dar a través de la piel, por inhalación al respirar el aire con material particulado, también al ingerir los alimentos cerca del equipo⁵.

Para determinar los efectos producidos en la salud de los trabajadores, se consideraron los siguientes indicadores: medición de hemoglobina, de hematocrito y la determinación de metales pesados en sangre⁶. En el caso del plomo su presencia en el flujo sanguíneo va a influir en la hematopoyesis y en la síntesis del grupo hemo, por lo que disminuye la cantidad de hemoglobina⁷.

PARTE EXPERIMENTAL

En el presente trabajo se planteó como objetivo determinar el contenido de metales pesados en el tóner y evaluar la influencia de éstos en la salud de los trabajadores en fotocopiadoras mediante indicadores biológicos y proponer un sistema de gestión ambiental.

El trabajo se realizó en la ciudad de Arequipa, durante los años 2003 al 2005, en los Laboratorios del Departamento Académico de Química de la UNSA ubicados en la Avenida Independencia de la ciudad. Se realizó un estudio transversal, descriptivo y analítico. Previa autorización de los trabajadores se les evaluó haciéndoles la determinación de hemoglobina, por espectrofotometría visible; hematocrito por el método del tubo capilar; plomo y cromo en sangre por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados se contrastaron con un grupo de alumnos de la Escuela Profesional de Química - UNSA, que fueron el grupo control. También se realizaron determinaciones de metales pesados en muestras de tóner. Se efectuó un sistema de gestión ambiental para el proceso de fotocopiado incidiendo en la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) y en las medidas de mitigación; finalmente, se propusieron medidas de mitigación para los impactos más fuertes^{8,9}.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la determinación de metales pesados en el tóner, se encontró los siguientes resultados (tabla 1):

Tabla 1: Contenido de metales pesados en el tóner

Metal	Pb	Fe	Cu	Cr	Zn	Cd
Conc.ppm	36,006	107,464	22,016	60,294	30,728	0,0807

Con relación a la hemoglobina, hematocrito, plomo y cromo en sangre se encontró los siguientes resultados (tabla 2).

Tabla 2: Análisis clínicos de los grupos estudiados

	Hb g/dl	Hto %	Pb ug/dl	Cr ug/dl
Trabajador	13,53 ± 1,12	42,02 ± 2,71	39,74 ± 8,97	33,08 ± 4,99
Control	14,42 ± 1,67	43,60 ± 3,68	25,00 ± 6,96	23,06 ± 4,59
Límites	12,0 - 17,0	37 - 54	30,00	5,00

Como se observa en la tabla 2, para la hemoglobina se detectó que el valor para el grupo de trabajadores es menor, así como los valores del hematocrito del grupo control, lo que nos indica en ambos casos el efecto de la exposición. Respecto al plomo y cromo en sangre se encontró que en los trabajadores el valor es mayor que para el grupo control, sobrepasando el límite permisible de 30ug/dl para el plomo y de 5ug/dl para el cromo, indicándonos el efecto de la exposición. Los grupos denominados como control y expuesto, respectivamente, muestran diferencias altamente significativas que evidencian una exposición directa al plomo y cromo.

La evaluación estadística de los datos para un nivel de confianza del 95% se realizó mediante la prueba t-student de comparación de medias, para lo cual se calculó el estadístico-t y se comparó con el estadístico de tablas^{10, 11}.

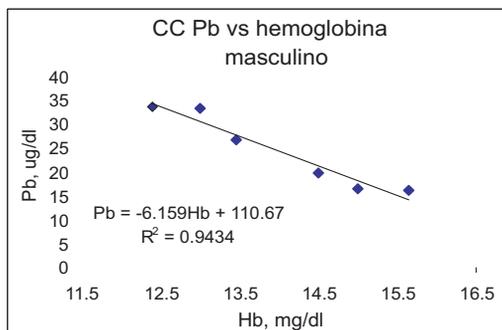


Figura 1. Comportamiento del plomo con la hemoglobina para el sexo masculino.

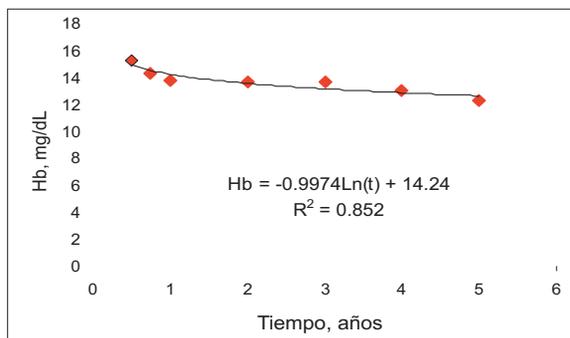


Figura 2. Comportamiento de la hemoglobina con el tiempo.

En la figura 1, el comportamiento de la gráfica es una recta con pendiente negativa, que nos indica que la Hb baja al aumentar la concentración del Pb y en la figura 2 se observa la gráfica de un modelo logarítmico donde el valor que acompaña a la variable independiente es negativo indicando que la Hb de los trabajadores disminuye con el tiempo de exposición laboral en las fotocopiadoras; el tiempo de exposición del trabajador varía de 5 meses a 5 años. Al realizar el Sistema de Gestión Ambiental se encuentra que en la evaluación del impacto ambiental producido por el proceso de fotocopiado, de acuerdo a la Matriz de Leopold, existen los factores impactados que se observan en la tabla 3.

En esa tabla se ha construido una matriz de importancia donde se consideran cuatro impactos que afectan negativamente al ambiente, y se les ha colocado en orden de importancia: alteración de la salud y seguridad con (-28/21), calidad del aire (-20/19), alteración de la capa superficial del suelo con (-20/13), alteración de las áreas antrópicas (-19/14). Proponiendo medidas de mitigación para los principales impactos que van a afectar la salud y seguridad de los trabajadores.

Tabla 3. Matriz de importancia para el proceso de fotocopiado

Actividades			Fase de implementación				Fase de funcionamiento							Fase de cierre			Valores finales					
Acciones antrópicas			Transporte de equipos y materiales	Limpieza de local	Ubicación de equipos y muebles	Ubicación materiales	producción de residuos sólidos	Transporte de materiales	Almacenaje de materiales	Fotocopiado	Embalado y entrega	Mantenimiento de equipos	Limpieza de equipos	Radiación y emisiones	Producción de residuos sólidos	Retiro de equipos	Limpieza de local	Producción de residuos sólidos	Promedios negativos	Promedios positivos	Promedios aritméticos	Magnitud
Medio antrópico	Aspecto sociocultural y económico	Alteración de la salud y seguridad	-2/2	-2/1			-3/2	-2/2	-1/1	-4/4		-2/1	-2/1	-2/2	-3/2		-2/1	-3/2	-28	-28	21	
Medio físico	Aire	Calidad del aire	-3/3		-1/1	-1/1	-2/2	-3/3	-1/1	-2/2	-1/1			-2/2	-1/1	-1/1		-2/1	-19	-20	19	
Medio físico	Suelo	Alteración de la capa superficial	-2/1	-1/1			-3/2	-2/1		-2/1		-1/1	-1/1	-3/2			-1/1	-3/1	-14	-20	13	
Medio biológico	Ecosistema	Alteración de áreas antrópicas	-2/2	-2/1			-2/2	-2/2					-2/1	-2/1	-3/2		-2/1	-3/2	19	-19	14	

En la tabla 4 se proponen las medidas de mitigación para los impactos más afectados, indicando en qué fase del fotocopiado se encuentran, cuál va a ser el indicador, la descripción de la actividad y la relevancia.

Tabla 4. Medidas de mitigación para el proceso de fotocopiado

Componente o factor ambiental	Fase	Indicador	Descripción de la actividad	Descripción del impacto	Relevancia	Medidas de mitigación
Calidad de aire	Implementación, operación y cierre	Polvo, PM ₁₀ , PM _{2.5}	Transporte y ubicación de equipos y materiales, fotocopiado	Material particulado en suspensión, PM ₁₀ , PM _{2.5}	Mediana relevancia	<ul style="list-style-type: none"> Humificación del medio ambiente Uso de GLP (gas licuado de petróleo) Reforestación Programa de monitoreo.
Salud, seguridad e higiene	Implementación, operación y cierre	Análisis clínicos en usuarios	Transporte y ubicación de equipos y materiales, fotocopiado	Usuarios con alteraciones en su salud	Alta relevancia	<ul style="list-style-type: none"> Medidas para disminuir el polvo (humificadores) Buena ventilación en locales. Uso de implementos necesarios (mascarillas, guantes, lentes) Capacitación de los usuarios en medidas de seguridad e higiene. Programa de monitoreo

continúa en la pág. siguiente ...

... viene de la pág. anterior

Alteración de la capa superficial de suelo	Implementación, operación y cierre	Depósito de residuos sólidos en suelos	Transporte y ubicación de equipos y materiales, fotocopiado	Suelos con aumento de residuos sólidos sin tratar	Alta relevancia	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas para disminuir los R.S. • Descompactación del suelo • Capacitación de usuarios en buena disposición de R.S. • Planes de contingencia: normas de seguridad. • Programa de monitoreo.
--	------------------------------------	--	---	---	-----------------	---

En la tabla 5 se muestran los programas de monitoreo y medición: que se harán para vigilar la salud, seguridad e higiene de los usuarios.

Tabla 5. Programa de monitoreo para la salud seguridad e higiene de usuarios

Estación de muestreo	Etapas	Frecuencia de muestreo	Parámetro	Método	Unidad de medición
E1: muestras al azar a 10 usuarios	Proceso de fotocopiado	Bimensual	Hemoglobina	Espectrofotómetro	mg/dl
			Hematocrito	Físico	%
			Presión arterial	Físico	mm de Hg
			Pulso	Físico	Pulso/min
			Plomo	Abs. atómica	mg/dl
			Cromo	Abs. atómica	mg/dl
			Mercurio	Abs. atómica	mg/dl
			Revisión médica	Médico	

CONCLUSIONES

- El tóner contiene metales pesados en las siguientes cantidades: plomo (3,6006ppm), cromo (6,0294ppm), hierro (10,7464ppm), cinc (3,0728ppm), cadmio (0,08071ppm), cobre (2,2016ppm).

- La hemoglobina de los trabajadores se encuentra en un valor bajo: 13,53 g/dl, siendo el valor normal entre 14,3 a 17,0 g/dl; el valor de hemoglobina del grupo control es más alto: 14,42g/dl. Al realizar el tratamiento estadístico utilizando la prueba del t student, comparando los valores de los trabajadores y grupo control, hay diferencia significativa ya que $t_{cal} > t_{tablas}$ para un 95% de probabilidad. Lo que nos indica que hay influencia del tóner en la salud de los trabajadores.

- Al realizar un modelo matemático relacionando tiempo de exposición y hemoglobina en los trabajadores, se encontró la ecuación logarítmica: $Hb=0,9974 \ln(t)+14,24$, con una correlación de 85,20%; el valor que acompaña al tiempo es negativo, lo que nos indica que la hemoglobina de los trabajadores disminuye al aumentar el tiempo de exposición. Lo mismo sucede con el hematocrito la ecuación es $Hb= 0,866\ln(t)+ 42,69$, con una correlación de 86,10%.

- Los datos obtenidos de plomo en sangre de los trabajadores, están entre 56,67 y 30,00ug/dl, con un promedio de 39,74ug/dl; estos valores en casi todos los casos sobrepasan los límites biológicos permisibles, que son: 30ug/dl en mujeres y 40ug/dl en varones. Para el grupo control los valores están entre 36,67 y 16,33 ug/dl, siendo el promedio de 25,00ug/dl. Los datos obtenidos de cromo en sangre de los trabajadores, están entre 43,33 y 26,00ug/dl, con un promedio de 33,08ug/dl; estos valores sobrepasan el límite biológico permisible, que es de 5ug/dl. Para el grupo control los valores están entre 30,00 y 16,67ug/dl, siendo el promedio de 25,00ug/dl, que también sobrepasa el límite biológico.

- Al realizar el Sistema de Gestión Ambiental se encuentra que en la evaluación del impacto ambiental producido por el proceso de fotocopiado, de acuerdo a la Matriz de Leopold, existen los siguientes factores impactados negativamente en orden de importancia: alteración de la salud y seguridad con (-28/21), calidad del aire (-20/19), alteración de la capa superficial del suelo (-20/13), alteración de las áreas antrópicas (-19/14). Para los cuales se ha propuesto un programa de gestión ambiental que incluye medidas de mitigación para cada impacto así como un programa de monitoreo.

AGRADECIMIENTOS

- A la Unidad de Postgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales de la UNSA.
- A los docentes del Departamento Académico de Química de la UNSA.
- Al personal de Servilab que nos apoyó en la realización de la parte experimental.

BIBLIOGRAFÍA

1. Albiano, Nelson. "Toxicología Laboral: Criterios para la vigilancia de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas". Trabajo Seguro. Centro de información y asesoramiento. *Revista Toxicología Laboral*. Año 1 N° 7. Argentina. 2005.
2. Blanco, A., *et al.* "Anemias nutricionales en mujeres lactantes de Costa Rica". Archivos Latinoamericanos de Nutrición. ISSN 0004-0622. vol. 53. N° 1. Caracas, Venezuela. 2003.
3. Armas, R. C. "Tecnología Ambiental". CONCYTEC. Primera Edición. Trujillo, Perú. 2002.
4. Moreno Sáez, Neus. "Cromo en orina, utilización como índice biológico en la exposición laboral". Centro Nacional Recondiciones de Trabajo Barcelona. N° 2. España. 1997.
5. Cantú Martines, Pedro. "Relación de los niveles de plomo en sangre con la ingesta de calcio y hierro en mujeres potencialmente gestantes". *Revista de Salud Pública y Nutrición*. Vol. 3. N° 3. México. 2002.
6. Codina J. y Pérez A. "Los metales pesados como polucionantes tóxicos". Revista Encuentros en la Biología. Editada en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga. ISSN 1134-8496. España. 1993.
7. Caravaca, Hedy. "Determinación de los valores de concentración de hemoglobina, hematocrito y concentración corpuscular media en una población de adultos sanos". *Revista Calidad en Salud del Colegio de Bioquímicos*. Vol 4-N° 36. Santa Fé. Argentina, Santa Fe. 2005.
8. Fernández-F. *et al.* "Intoxicación crónica por plomo". Anales de Medicina Interna, Departamento de Medicina. Universidad de Santiago de Compostela. ISSN 0212-7199 vol.19 N°3. Madrid, España. 2002.

9. Stejen I., Susana. “Metales pesados ecotóxicos”. Universidad Católica del Norte. Primera Edición. Antofagasta, Chile. 2004.
10. De la Fuente Francisco. “Toxicología Ambiental”: Universidad Católica del Norte. Primera Edición. Antofagasta, Chile. 2004.
11. Ruiz González, Marlen. “Ferropenia en niños de 6 a 24 meses de edad con hemoglobina normal”. *Revista Cubana de Medicina*. Vol. 18(2) ISSN 0864-2125. Habana, Cuba. 2002.
12. Queirolo P, Fabricio. “Contaminación de aguas”. Universidad Católica del Norte. Primera Edición. Antofagasta, Chile. 2004.