

DETERMINACION DE LA CONCENTRACION LETAL MEDIA DEL COBRE Y EL CADMIO SOBRE *DAPHNIA PULEX*

Blanca Luz Mejía Q.
Jaime A. Palacio B.*

INTRODUCCION

Aun en niveles no detectables en análisis químicos, la presencia de sustancias químicas en los ambientes naturales genera modificaciones en la estructura de las comunidades acuáticas. Estos cambios se reflejan en la dominancia relativa de las poblaciones y afectan la transferencia de materia y los flujos energéticos a través de la red trófica.

El comportamiento de las sustancias químicas en los ecosistemas acuáticos varía considerablemente de acuerdo a las condiciones ambientales. Los procesos de transporte, transferencia y transformación en la fase ambiental, definen en un alto porcentaje el destino y la forma final de los contaminantes. El grado de toxicidad de sustancias simples o de mezclas complejas puede ser afectado por una serie de procesos ambientales o factores fisico-químicos y biológicos. Adicionalmente, se presentan interacciones de sinergismo o antagonismo en la fase ambiental entre las sustancias xenobióticas y entre éstas y los sólidos disueltos.

A pesar de las dificultades para validar los resultados de laboratorio y aplicarlos a ambientes naturales, los ensayos de toxicidad han adquirido una importancia

creciente en las últimas dos décadas. Cada día se comprende mejor el significado de esas pruebas como un elemento central en el control de la calidad de los efluentes industriales y para establecer el grado de toxicidad de sustancias simples o mezclas complejas. Los resultados de las investigaciones ecotoxicológicas son un elemento importante para las entidades encargadas del cuidado, control y mejoramiento de la calidad de las aguas naturales y son la base para la promulgación de los estándares de calidad ambiental.

Las pruebas de toxicidad se han empleado en la solución de numerosos interrogantes relacionados con los efectos biológicos agudos de contaminantes y con las implicaciones de la exposición a concentraciones subletales sobre el ciclo de vida y el comportamiento de los organismos acuáticos. La información generada por las pruebas de toxicidad puede ser usada para predecir los efectos de materiales residuales en el ambiente, para comparar la toxicidad de diferentes sustancias para establecer los efectos a diferentes condiciones de prueba y en la definición de las bases para la regulación de descargas (Buikema et al, 1982).

En el campo de la toxicología acuática, Colombia no posee una gran tradición.

* Investigadores del Centro de Investigaciones Ambientales de la Universidad de Antioquia, CIA.

Escobar (1975) evaluó la toxicidad de efluentes de explotaciones de petróleo sobre algunas especies del río Magdalena. Posteriormente Lara y Valderrama (1977) y Montoya (1981) estudiaron los efectos de Pesticidas sobre el *Macrobrachium acanthurus*. La Universidad del Valle y la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC) han utilizado organismos acuáticos para evaluar la calidad del agua (Zúñiga 1989 y Peláez 1993). En la Universidad de Antioquia se han realizado pruebas de toxicidad y ensayos biológicos desde hace cerca de seis años, Palacio y Parra (1989), Aubad (1990), Ramírez y Zuluaga (1991) y Henao (1992).

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 ORGANISMOS DE PRUEBA

Se emplearon clones de *Daphnia pulex* debido a que es una especie cosmopolita, se adapta fácilmente a las condiciones de laboratorio, posee un buen tamaño y su reproducción partenogenética asegura la disponibilidad de una población abundante para los ensayos.

Los ejemplares se colectaron en la represa La Fe, ubicada en jurisdicción del municipio de El Retiro a 33.0 km de Medellín. La represa La Fe se encuentra a 2.175 m.s.n.m., tiene un área superficial de 165.0 ha., un volumen total de 12.15 mm³ y una profundidad media de 9.1 m.

Para la aclimatación de los especímenes a condiciones de laboratorio y los ensayos de toxicidad se utilizó agua reconstituida blanda. El agua reconstituida se preparó a partir de agua destilada, adicionándole sustancias químicas de grado analítico y siguiendo las recomendaciones del Standard Methods (APHA, 1989). Con el fin de estabilizar el pH y

el oxígeno disuelto, el agua se preparó y aireó 48 horas antes de ser utilizada (USEPA, 1975 y APHA, 1989).

En el agua de aclimatación y en los ensayos se controlaron la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, la dureza total y la conductividad eléctrica.

Se mantuvo un fotoperíodo de 16 horas luz y 8 horas de oscuridad y una temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. El alimento consistió en una mezcla de Tetramín, alfalfa y levadura, de la cual se les suministró 1.5 ml/L cada dos días.

Después de la aclimatación, se cultivó *D. pulex* con el fin de garantizar el stock de ejemplares para los ensayos. Para esto se trasladaron 60 neonatos a un recipiente de vidrio de tres litros y con agua de dilución.

24 horas antes de iniciar las pruebas, se prepararon las soluciones madre. A partir de éstas se realizaron las diluciones para los seis niveles de exposición. Las soluciones madre se prepararon con base en las concentraciones letales medias establecidas en el libro rojo de la EPA (1986) para cadmio y cobre. Las sales de Sulfato de Cadmio II (CdSO₄) y de Sulfato de cobre II (CuSO₄) empleadas en las pruebas de toxicidad se seleccionaron por su alta solubilidad en agua.

Antes de iniciar las pruebas de toxicidad a las 24 y a las 48 horas de tratamiento, se midió la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, la dureza total y la conductividad eléctrica. El fotoperíodo se mantuvo constante (16 horas luz y ocho de oscuridad).

Para las pruebas de toxicidad se empleó un sistema estático, sin renovación. A cada beaker de 250 ml se le adicionó 200 ml de la solución de ensayo y luego se depositaron

20 ejemplares de *D. pulex*. Los ejemplares utilizados para cada ensayo fueron jóvenes de 24 a 48 horas de edad, correspondientes a clones de la F3. Para cada concentración se tuvo una réplica.

A partir de los resultados de los ensayos preliminares se definió un rango de niveles de exposición, tomando como límite inferior la concentración con una mortalidad de cero y como límite superior la concentración con un 100 por ciento de mortalidad. Las concentraciones intermedias se definieron utilizando una serie geométrica, según recomendaciones de la APHA (1989). Para el cálculo de la concentración letal media y sus intervalos de confianza se empleó el método de los probits (Finney 1952 y Bliss, 1934).

Tanto los ensayos preliminares como los definitivos tuvieron una duración de 48 horas. Con el fin de disminuir las posibles interacciones entre el alimento y las sustancias tóxicas, no se suministró alimento durante los ensayos.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presentan los resultados de las variables fisicoquímicas al inicio, a las 24 horas y al final de la prueba de toxicidad con cobre. En general se encontró una gran estabilidad temporal de las variables fisicoquímicas en el control y en la totalidad de las concentraciones de prueba. Tampoco se registraron diferencias significativas entre el control y los diferentes niveles de exposición.

La temperatura del agua fluctuó entre 20 y 20.5 °C. Esto significa un rango inferior a un grado y por lo tanto, se puede asumir que esta variable se mantuvo constante a través de la exposición y que no afectó el

comportamiento del cobre durante el ensayo. Como se señaló para la temperatura, el pH no exhibió variaciones notables a través del ensayo, ni entre el control y los diferentes niveles de exposición. En consecuencia se puede afirmar que el pH no afectó el comportamiento del cobre durante el ensayo.

Las concentraciones de oxígeno disuelto, entre 8.1 y 8.5 mg/L, garantizan un porcentaje de saturación siempre superior al 70% como se recomienda para este tipo de experimentos. Como el caso anterior, la conductividad y la dureza total permanecieron estables y dentro de los rangos definidos para agua blanda.

De las figuras 1 y 2 se infiere que las concentraciones letales medias (CL50) del cobre para 24 y 48 horas para *D. pulex* fueron 0.631 y 1.0 ug/L, respectivamente. En las tablas 2 a 6 se sintetizan los resultados de los parámetros para la estimación del chi-cuadrado y del error estándar de la CL50. Los resultados de estos estadísticos indican un buen ajuste de la línea dosis - respuesta y por lo tanto, validan la estimación de la CL50.

Las condiciones ambientales del laboratorio (temperatura, fotoperíodo y calidad e intensidad de la luz) y las características fisicoquímicas del agua de dilución (pH, conductividad y dureza) pueden afectar considerablemente el comportamiento del tóxico en su fase ambiental y consecuentemente su toxicidad. Todos los factores señalados anteriormente limitan considerablemente las posibilidades de confrontación de los datos de diferentes estudios, donde no se reportan las condiciones experimentales.

No se dispone de información bibliográfica acerca de la toxicidad del cobre sobre

Daphnia pulex. Biesinger y Christensen (1972), citados por EPA (1976), encontraron una reducción del 16 por ciento en la actividad reproductiva de *Daphnia magna* luego de tres semanas de exposición a 22 mg/L de cobre en agua blanda. La CL50 para este período de exposición fue 44 mg/L. Según Calabreze et al (1973), citado por Thurston et al (1979), la CL50 del cobre a las 48 horas en la ostra **Crassostrea virginica** fue 0.1 mg/L.

Al comparar los resultados de las CL50 del cobre con los criterios generales de calidad para la vida en ambientes limnéticos (Cepis, 1991), se encuentra que la CL50 a las 24

horas es mayor a la concentración máxima permisible (0.2 mg/L). En contraste, la CL50 para 48 horas es inferior.

De otro lado, los valores de CL50 del cobre para los dos períodos de exposición son notablemente inferiores a la concentración máxima permisible (8.4 mg/L) y al promedio para un período de exposición de 30 días (5.8 mg/L) establecido por la EPA (1980 y 1984).

En la tabla 7 se sintetizan los resultados de las variables fisicoquímicas de Cadmio (CdSO4) en diferentes períodos, en el control y en todos los niveles de exposición.

Tabla 1. Variables fisicoquímicas en el control y de las diferentes concentraciones del Sulfato de Cobre (CuSO4) en ensayos de toxicidad con *D. pulex*

VARIABLE	Período de exposición (horas)	Agua Reconstit.	CONCENTRACIONES DE CuSO4 (mg/L)						
			Control	1 x 10 ⁻²	1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁷
Temperatura (°C)	0	20.0	20.0	20.5	20.4	20.4	20.3	20.3	20.1
	24	20.0	20.2	20.4	20.4	20.3	20.2	20.0	20.1
	48	20.5	20.3	20.4	20.5	20.5	20.2	20.0	20.1
pH (unidades)	0	7.60	7.60	7.64	7.62	7.59	7.59	7.58	7.58
	24	7.60	7.6	7.63	7.61	7.60	7.59	7.59	7.58
	48	7.65	7.59	7.62	7.61	7.60	7.60	7.60	7.69
Oxígeno disuelto (mg/L)	0	8.5	8.5	8.2	8.2	8.3	8.4	8.5	8.5
	24	8.5	8.5	8.1	8.1	8.2	8.4	8.4	8.5
	48	8.4	8.3	8.0	8.0	8.2	8.3	8.4	8.4
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0	115.4	115.4	121.0	119.0	117.0	116.8	116.0	115.9
	24	115.4	115.0	121.0	119.8	116.0	116.5	116.5	115.6
	48	115.0	115.0	48.0	118.0	116.0	116.9	117.0	115.0
Dureza total (mg/L CaCO3)	0	48.0	48.0	48.0	47.5	47.5	46.0	45.5	45.0
	24	48.0	48.0	47.5	46.0	46.5	46.5	45.5	45.5
	48	48.0	47.5	47.5	46.5	46.5	45.5	45.0	45.4

Probit
Empírico

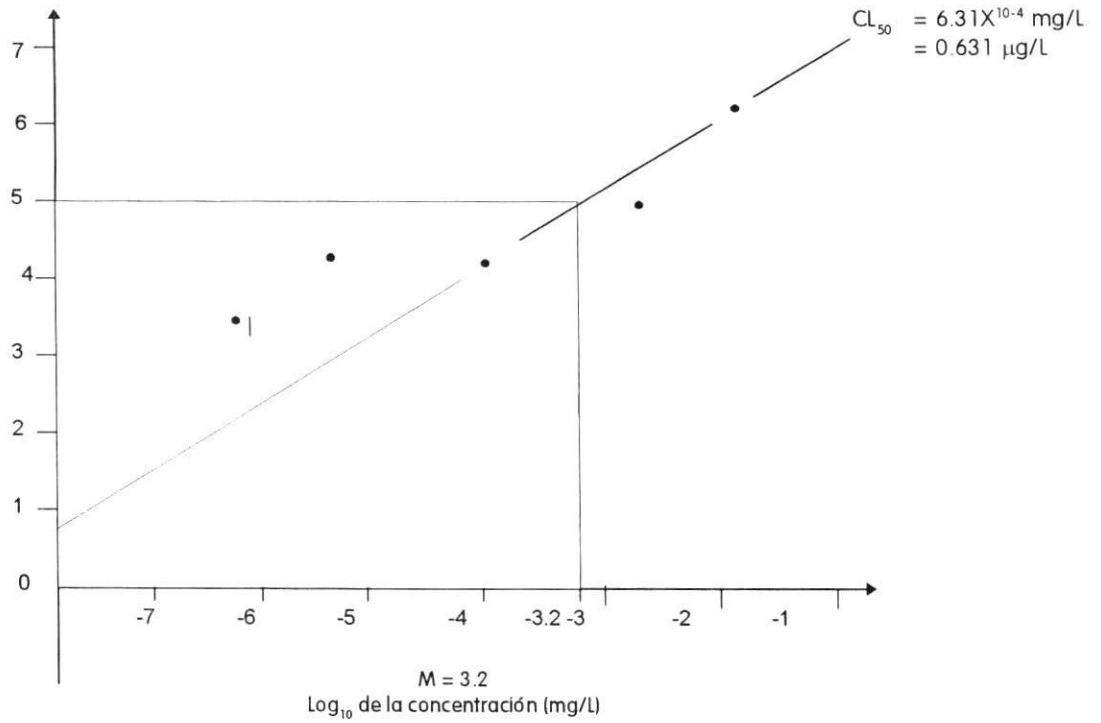


Figura 1. Dosis letal media (CL₅₀) del cobre (CuSO₄) en *D. pulex* a 24 horas de exposición

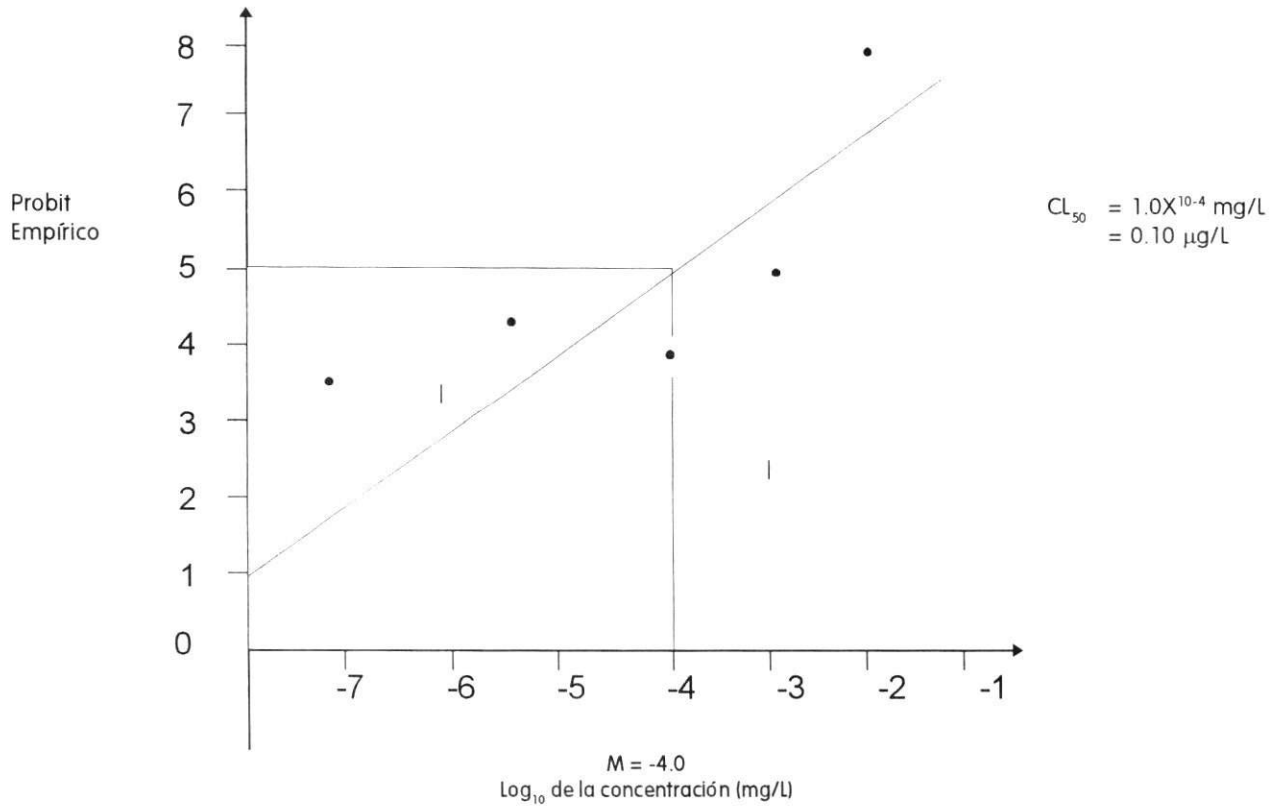


Figura 2. Dosis letal media (CL₅₀) del cobre (CuSO₄) en *D. pulex* a 48 horas de exposición

Tabla 2. Estimación del Chi-cuadrado para 24 horas de exposición de *D. pulex* a CuSO_4

Concentración (x)	$\text{Log}^{10} X$	Nº de ejemplares (N)	Mortalidad observada (r)	Porcentaje mortalidad (P)	Probit empírico (y)	Probit calculado (y')	Efecto esperado (P')	Mortalidad esperada (NP')	Desviación de la mortalidad (r-NP')	$\chi^2 \text{ cal}$
0.0000001	-5	40	0	0.0	0.0	0.086	0.0000	0.0	0.0	0.000
0.000001	-4	40	3	7.5	3.55	1.310	0.0000	0.0	3.0	0.000
0.00001	-3	40	8	20.0	4.16	2.530	0.0065	0.0	8.0	0.000
0.0001	-2	40	9	22.5	4.24	3.760	0.1050	4.2	4.8	4.700
0.001	-1	40	20	50.0	5.00	5.000	0.5000	20.0	0.0	0.000
0.01	0	40	35	87.5	6.15	6.250	0.8900	35.6	0.6	0.092
										$\Sigma = 4.792$

Tabla 3. Error Estándar del Log 10 de la CL50 de CuSO_4 sobre *D. pulex* para 24 horas de exposición

Concentración (X)	$\text{Log}^{10} X$	Número de ejemplares (N)	Probit Calculado (Y')	Factor (W)	Producto NW	Producto NWX	Producto NWX ²
0.0000001	-5	40	3.17	0.157	6.30	-2.08	10.40
0.000001	-4	40	3.70	0.336	13.44	-1.82	7.30
0.00001	-3	40	4.23	0.507	20.26	-13.20	39.60
0.0001	-2	40	4.76	0.624	24.95	-29.84	59.68
0.001	-1	40	5.30	0.616	24.64	-25.00	25.00
0.01	0	40	5.82	0.505	20.19	0	0
				$\Sigma =$	110.48	-220.60	669.36

Tabla 4. Estimación del Chi-cuadrado para 48 horas de exposición de *D. pulex* a CuSO_4

Concentración (X)	$\text{Log}_{10} X$	Nº de ejemplares (N)	Mortalidad observada (r)	Porcentaje mortalidad (P)	Probit empírico (y)	Probit calculado (y')	% Efecto esperado (P')	Mortalidad esperada (NP')	Desviación mortalidad (r-NP')	$\chi^2 \text{ cal}$
0.0000001	-5	40	0	0.0	0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.00
0.000001	-4	40	5	12.5	3.84	0.60	0.000	0.0	5.0	0.00
0.00001	-3	40	9	22.5	4.24	2.20	0.000	0.0	9.0	0.00
0.0001	-2	40	9	22.5	4.24	3.82	0.125	5.0	4.0	3.60
0.001	-1	40	24	60.0	5.25	5.43	0.665	26.6	-2.6	0.31
0.01	0	40	40	100.0	8.09	7.04	0.975	39.0	1.0	1.02
										$\Sigma = 4.93$

Tabla 5. Error Estándar del Log10 de la CL50 del CuSO4 sobre *D. pulex* para 48 horas de exposición

Concentración (X)	Log ¹⁰ x	N° de ejemplares	Probit calculado (Y')	Factor (W)	Producto NW	Producto NWX	Producto NWX ²
0.0000001	-5	40	0.10	0.001	0.04	-0.20	1.00
0.000001	-4	40	0.60	0.001	0.04	-0.16	0.64
0.00001	-3	40	2.20	0.025	1.00	-3.00	9.00
0.0001	-2	40	3.82	0.630	25.18	-50.37	100.74
0.001	-1	40	5.43	0.604	24.17	-24.17	24.17
0.01	0	40	7.04	0.132	5.27	0.00	0.00
				Σ =	55.7	-77.90	135.55

Tabla 6. Estadígrafos para el cálculo de la CL50 con Cobre (CuSO4) en *D. pulex*.

PARAMETROS	PERÍODO DE EXPOSICIÓN	
	(horas)	
	24	48
Log ₁₀ de la concentración media (m)	-3.2	-4.0
Antilog de m (CL ₅₀ (µg/L))	0.631	0.100
Log ₁₀ de la concentración máxima	0	0
Probit esperado para la concentración máxima	6.25	7.04
Log ₁₀ de la concentración mínima	-5	-5
Probit esperado para la concentración mínima	0.415	0.0
Pendiente (S)	0.813	0.613
X ² calculado	4.79	4.93
X ² tabulado	9.49	9.49
Grados de libertad (K-2)	4	4
Error estándar Log ₁₀ CL ₅₀	0.1008	0.323
Error estándar de la CL ₅₀	0.146	0.074
Límite inferior (µg/L)	0.484	0.025
Límite superior (µg/L)	0.476	0.174

Ninguna de las variables fisicoquímicas experimentó cambios notables durante las pruebas, ni diferencias significativas entre el control y las concentraciones probadas. De

esta forma, se descarta algún cambio en el comportamiento ambiental del Cadmio y se asume que la forma Cd+2 permaneció estable.

De la figura 3 y las tablas 8, 9 y 12, se infiere que para un período de exposición de 24 horas, la CL50 estimada fue 1.413 mg/L de Cadmio. Al incrementarse el período a 48 horas la CL50 se redujo a 0.398 mg/L (figura 4, tablas 10, 11 y 12).

Según Moor y Ramamoorthy (1983) la CL50 del Cadmio en invertebrados de agua dulce varía entre 0.003 y menos de 0.5 mg/L, desafortunadamente no se reporta la extensión del período de exposición. Los más altos valores de la CL50 se han reportado en condiciones de dureza superiores a 50 mg/L. Para *Tubifex tubifex* la CL50 del cadmio se incrementó hasta 24 veces al reducirse el pH de 7.3 a 6.3 y la dureza de 261.0 a 0.1 mg/L de CaCO₃ (Moor y Ramamoorthy, op. cit). Este hecho hace suponer que bajo las condiciones de experimentación del presente estudio, la CL50 debe ubicarse cerca de la frontera inferior de toxicidad reportada por la literatura.

De acuerdo a los criterios generales para la vida acuática (Cepis 1991), la concentración de seguridad de Cadmio para aguas con dureza entre cero y 69 mg/L de CaCO₃ no debe superar 0.2 mg/L. Por su parte, la EPA (1980 y 1984), tomado de Cepis (op. cit), estableció para una dureza de 50 mg/L de CaCO₃ una concentración máxima permisible de 2.0 mg/L.

Las diferencias entre los niveles de seguridad para el Cadmio establecido por la EPA (op. cit) y el Cepis (op. cit) se fundamentan probablemente en el creciente conocimiento de las graves implicaciones de la presencia de Cadmio en los ecosistemas acuáticos. Hasta hace pocos años, el Cadmio no fue considerado un metal importante desde el punto de vista de la contaminación acuática.

Recientemente, se ha establecido que la presencia de este metal en los ecosistemas acuáticos representa un grave riesgo para la biota, debido a su gran capacidad de bioacumulación.

De acuerdo al presente estudio para 48 horas de exposición es más tóxico el cobre que el cadmio en *D. pulex*. Estos resultados son concordantes con los reportados por Buikema et al (1982), quienes afirman que el cobre es más tóxico para *D. magna* que el cadmio para un período de exposición de 24 horas.

En una evaluación de la toxicidad aguda de algunos metales pesados con *D. magna*, Zúñiga (1989) encontró que esta especie es muy sensible a la presencia de metales pesados en agua blanda. Para un período de exposición de 24 horas, se estimó una mayor toxicidad del mercurio y luego del cobre, del cadmio y del zinc. En este caso, la concentración letal media se calculó mediante el método gráfico (Lichtfield y Wilconxon, 1949).

Mientras que Zúñiga (op. Cit) estimó una CL50 para 24 horas de 12 mg/L de Cu y de 90 mg/L de Cd para *D. magna*, para *D. pulex*, estos valores correspondieron a 0.360 mg/L de Cu y a 1.2 mg/L de Cd. Este hecho indica una mayor sensibilidad de *D. pulex* a estos metales.

No es posible atribuir las notables diferencias de los resultados a divergencias en las condiciones experimentales, debido a que la temperatura y las características del agua de dilución fueron muy similares. Desafortunadamente, no se puede confrontar algunos factores ambientales asociados a las condiciones del laboratorio, debido a que Zúñiga (op. Cit) no hace referencia a la intensidad.

En experimentos con *D. magna* Buikema (1973), Sherberger y Buikema (1976) y Shan (1974), citados por Buikema (1980), afirman que la intensidad lumínica afectó la sensibilidad y la reproducción de *Daphnia pulex*. Mientras a bajas intensidades de luz se incrementó significativamente la sensibilidad de *D. pulex* al cromo, un fotoperíodo de 16 horas estimuló la reproducción asexual. En consecuencia, las notables diferencias en los resultados podrían estar asociados, a las condiciones del laboratorio y a diferencias interespecíficas en la sensibilidad y en la edad de los especímenes.

De acuerdo con Buikema et al (1980), los primeros instares de *Daphnia* sp. son más sensibles a tóxicos, debido a que la frecuencia de mudas es de tres a cinco veces mayor durante las primeras 48 horas de vida.

Aparentemente, la principal diferencia entre los dos estudios es la edad de los

ejemplares y la especie sometida a prueba. Mientras Zúñiga (op. Cit) empleó neonatos de *D. magna* con edades de seis a 24 horas, los ejemplares de *D. pulex* tenían entre 24 y 48 horas. Si se asume que los especímenes más jóvenes son más sensibles a tóxicos, se debe inferir que *D. pulex* es menos tolerante a los metales pesados que *D. magna*. Según Cairns et al (1978) este hecho podría sustentarse en el menor tamaño de *D. pulex*.

Aún subsiste una gran controversia sobre la conveniencia de someter a neonatos de *Daphnia* a 48 horas de inanición. Según Threlkeld (1976), tomado de Buikema (op. Cit), los primeros instars de *D. pulex* pueden sobrevivir máximo 24 horas sin alimento e incluso, el primer instar podría no tolerar más de 48 horas en estas condiciones. Lemke y Lampert (1975) recomiendan la realización de ensayos de toxicidad con adultos de *Daphnia* y no con neonatos.

Tabla 7. Variables fisicoquímicas en el control y en las diferentes concentraciones del Sulfato de Cadmio (CdSO₄) en ensayos de toxicidad con *Daphnia pulex*

VARIABLE	Período de exposición (Horas)	Agua Reconstituida	CONCENTRACIONES DE CuSO ₄ (mg/L)						
			Control	1x10 ⁻²	1x10 ⁻³	1x10 ⁻⁴	1 x 10 ⁻⁵	1 x 10 ⁻⁶	1 x 10 ⁻⁷
Temperatura (°C)	0	21.0	21.0	21.4	21.3	21.3	21.4	21.2	21.0
	24		21.0	21.4	21.2	21.3	21.3	21.2	21.4
	48		21.0	21.5	21.3	21.2	21.2	21.4	21.5
pH (unidades)	0	7.49	7.50	7.53	7.52	7.52	7.50	7.50	7.49
	24	7.49	7.50	7.54	7.53	7.53	7.52	7.50	7.49
	48	7.50	7.51	7.54	7.54	7.53	7.51	7.51	7.50
Oxígeno disuelto (mg/L)	0	8.2	8.2	8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1
	24	8.0	8.2	8.0	8.1	8.1	8.0	8.0	8.0
	48	8.0	8.1	7.7	7.8	7.8	7.8	7.9	8.0
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0	136.0	136.0	138.0	137.0	137.0	135.0	136.0	134.0
	24	137.0	136.0	137.0	137.0	136.0	135.0	135.0	133.0
	48	137.0	136.0	137.0	136.0	135.0	134.0	135.0	135.0
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	0	48.0	47.0	47.0	47.0	45.0	44.0	44.0	43.0
	24	48.0	45.0	46.0	44.0	43.0	43.0	44.0	43.0
	48	47.0	46.0	46.0	45.0	41.0	40.0	40.0	42.0

Probit
Empírico

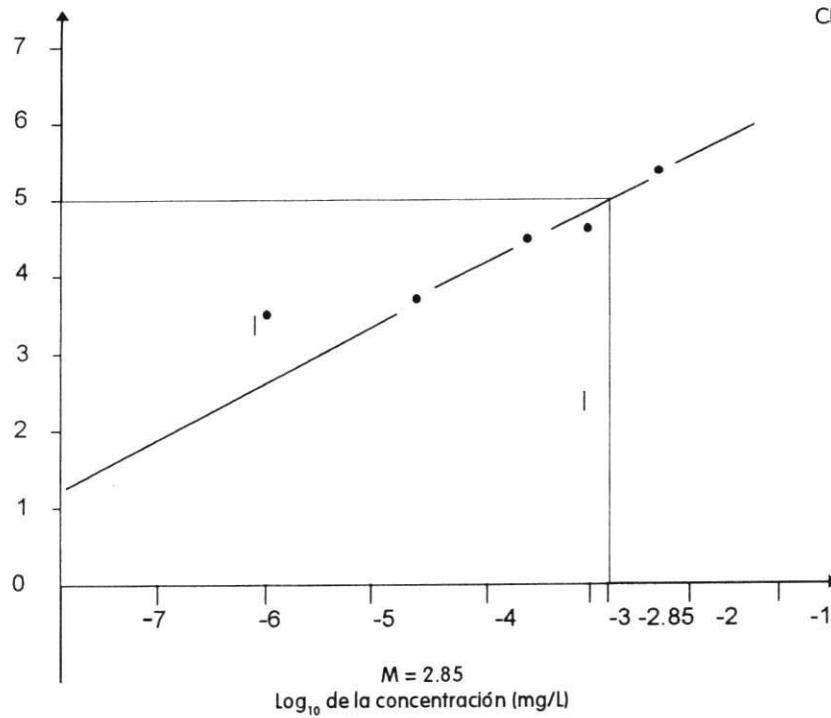


Figura 3. Dosis letal media (CL_{50}) para el cadmio ($CdSO_4$) en *D. pulex* a 24 horas de exposición.

Probit
Empírico

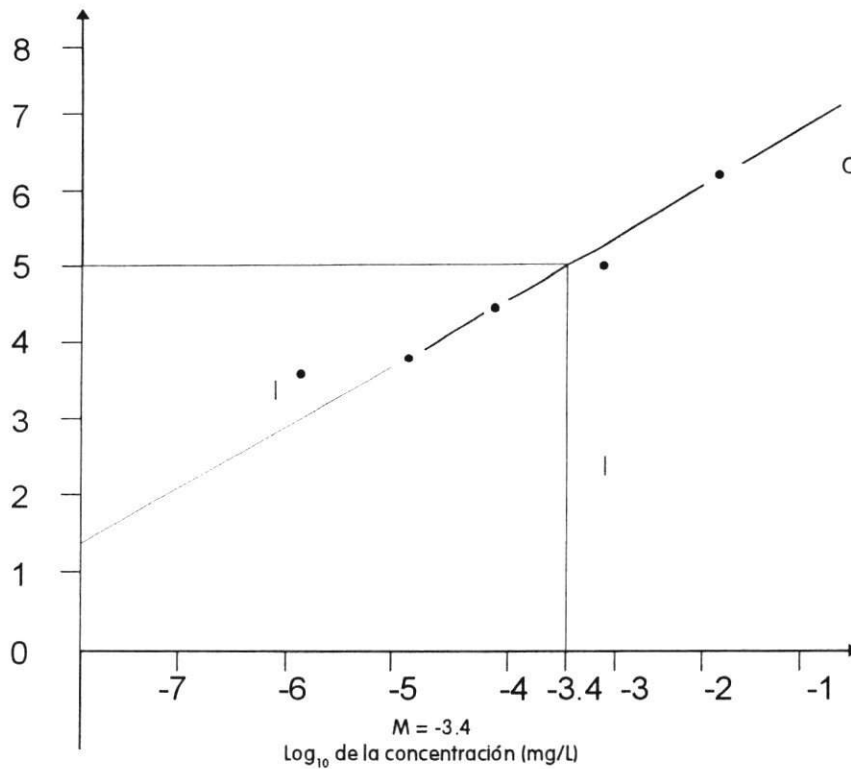


Figura 4. Dosis letal media (CL_{50}) para el cadmio ($CdSO_4$) en *D. pulex* a 48 horas de exposición

Tabla 8. Estimación del Chi-cuadrado para 24 horas de exposición *D. pulex* a CdSO₄

Concentración (x)	Log ¹⁰ X	Nº de ejemplares (N)	Mortalidad observada (r)	Porcentaje mortalidad (P)	Probit empírico (y)	Probit calculado (y')	Efecto esperado (P')	Mortalidad esperada (NP')	Desviación de la mortalidad (r-NP')	X ² cal
0.0000001	-5	40	0	0.0	0.00	0.45	0.00	0.00	0.0	0.00
0.000001	-4	40	2	5.0	3.36	1.57	0.00	0.00	0.0	0.00
0.00001	-3	40	3	7.5	3.55	2.69	0.00	0.00	0.0	0.00
0.0001	-2	40	7	17.5	4.06	3.81	0.12	4.60	2.4	1.41
0.001	-1	40	18	40.0	4.75	4.92	0.47	18.8	-0.8	0.06
0.01	0	40	29	72.5	5.59	6.04	0.85	34.0	-5.0	4.90
										S=6.37

Tabla 9. Error Estándar del Log₁₀ de la CL₅₀ de CdSO₄ sobre *D. pulex* para 24 horas de exposición

Concentración (X)	Log ¹⁰ X	Número de ejemplares (N)	Probit Calculado (Y')	Factor (W)	Producto NW	Producto NWX	Producto NWX ²
0.0000001	-5	40	0.45	0.001	0.04	-0.20	1.00
0.000001	-4	40	1.57	0.003	0.13	-0.50	2.01
0.00001	-3	40	2.69	0.064	2.57	-7.70	23.09
0.0001	-2	40	3.81	0.371	14.83	-29.68	59.35
0.001	-1	40	4.92	0.636	25.46	-25.46	25.46
0.01	0	40	6.04	0.402	16.09	0.0	0.0
				Σ =	59.12	-63.54	110.91

Tabla 10. Estimación del Chi-cuadrado para 48 horas de exposición de *D. pulex* a CdSO₄

Concentración (X)	Log ¹⁰ X	Nº de ejemplares (N)	Mortalidad observada (r)	Porcentaje mortalidad (P)	Probit empírico (y)	Probit calculado (y')	Efecto esperado (P')	Mortalidad esperada (NP')	Desviación mortalidad (r-NP')	X ² cal
0.0000001	-5	40	0	0.0	0.00	0.13	0.000	0.0	0.0	0.000
0.000001	-4	40	3	7.5	3.55	1.40	0.000	0.0	3.0	0.000
0.00001	-3	40	5	12.5	3.84	2.60	0.000	0.0	5.0	0.000
0.0001	-2	40	13	32.5	4.54	3.80	0.015	0.0	13.0	0.000
0.001	-1	40	23	57.5	5.19	5.04	0.515	20.6	2.4	0.576
0.01	0	40	35	87.5	6.15	6.30	0.845	33.8	1.2	0.275
										Σ=0.851

Tabla 11. Error Estándar del Log_{10} de la CL_{50} de CdSO_4 sobre *D. pulex* para 48 horas de exposición.

Concentración (X)	$\text{Log}_{10}X$	N° de ejemplares (N)	Probit calculado (Y')	Factor (W)	Producto NW	Producto NWX	Producto NWX ²
0.0000001	-5	40	0.13	0.001	0.04	-0.20	1.00
0.000001	-4	40	1.40	0.002	0.08	-0.32	1.28
0.00001	-3	40	2.60	0.062	20.48	-7.44	22.32
0.0001	-2	40	3.80	0.370	14.80	-29.60	59.20
0.001	-1	40	5.04	0.369	25.56	-25.56	25.56
0.01	0	40	6.30	0.336	13.44	0.0	0.0
				$\Sigma =$	56.40	-63.12	109.36

Tabla 12. Estadígrafos para el cálculo de la CL_{50} con Cadmio (CdSO_4) en *D. pulex*.

PARÁMETROS	PERÍODO DE EXPOSICIÓN	
	(horas)	
	24	48
Log 10 de la concentración media (m)	-3.85	-3.40
Antilog de m (CL_{50} (mg/L))	1.413	0.398
Log 10 de la concentración máxima	0	0
Probit esperado para la concentración máxima	6.04	6.30
Log 10 de la concentración mínima	-5.0	-5.0
Probit esperado para la concentración mínima	0.450	0.129
Pendiente (S)	0.894	0.813
X^2 calculado	6.47	0.851
X^2 tabulado	9.49	9.49
Grados de libertad (K-2)	4	4
Error estándar $\text{Log}_{10} \text{CL}_{50}$	0.270	0.317
Error estándar de la CL_{50}	0.876	0.290
Límite inferior ($\mu\text{g/L}$)	0.536	0.108
Límite superior ($\mu\text{g/L}$)	2.288	0.688

La utilización de neonatos sin alimentación durante 48 horas podría haber afectado los resultados del presente estudio. Las

posibilidades de confrontación de los resultados de investigaciones, realizados con la misma especie pero con ejemplares en diferente estado de desarrollo son limitadas.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA and WPEF. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater (17th ed.). Washington, D. C. APHA.
- AUBAD, M. 1990. Comportamiento eléctrico de dos especies ícticas frente a la presencia de sustancias contaminantes en el medio. Tesis de grado. Departamento de Biología. Universidad de Antioquia. Medellín.
- BAUDO, R. 1987. Ecotoxicological testing with *Daphnia* Mem. Inst. Ital. Hidrobiol. 45:461-482.
- BLISS, C.I. 1934. The method of probits. Science. 79: 38 - 39.
- BUIKEMA, A. L. et al. 1979. In energy and environmental stress in aquatic systems. Thorp and Gibbons, Savannah River Ecology Laboratory, Athens, Ga.
- BUIKEMA, A. L. et al. 1980. Aquatic invertebrate bioassays. ASTM, Baltimore, MD (USA) ASTM/STP 115.
- BUIKEMA, A. L. Jr. 1973. Filtering rate of the cladocera, *Daphnia pulex* as a function of body size, light and acclimation. Hydrobiology 41: 83 - 100.
- BUIKEMA, A.L. (Jr.) Niederlehner, B.R. and Cairns, J. (Jr.) 1982. Biological monitoring part IV - Toxicology testing. Water research, 16 (3), 239 - 262.
- BUIKEMA, A.L., et al. 1976. A screening bioassay using *Daphnia pulex* for refinery wastes discharged into freshwater. Jour. Testing. Evaluation. 4:119 - 125.
- CAIRNS, J Jr. et al. 1978. Estimating the hazard of chemical substances to aquatic life. ASTM, Philadelphia, PA, (USA). ASTM/STP 657: 278 PP.
- Cepis. 1991. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria.
- EPA. 1976. Bioassay procedures for the ocean disposal permit program. National technical information service. U.S. Department of Commerce Strinsfield U.A.
- FINNEY, D.J. 1952. Probit analysis, a statistical treatment of the sigmoid response curva. 2nd. ed. Cambridge: University Press. 318 p.

GELBER, R. D. y otros. 1985. Statistical analysis en: Rand, G. and S. Petrocelli, Eds. Fundamentals of aquatic toxicology: Methods and applications. Washington Hemisphere. 666 p.

HENAO, M.B.H. 1992. Determinación de la toxicidad letal del clorpirifos sobre la mojarra plateada ***Oreochromis niloticus***. Tesis de grado. Universidad de Antioquia. Facultad de ciencias exactas y naturales. Departamento de Biología.

HERNÁNDEZ R., H. 1991. Bioevaluación del organofosforado Clorpirifos mediante bioensayos de toxicidad aguda. Con especies ícticas y un crustáceo (camarón marino). Tesis de grado. Departamento de Biología. Universidad de Antioquia. Medellín.

KUBA, I. 1969. Japanese Journal of Physiology, Vol. 19, pp. 762 - 764.

LEMKE, H.W. and Lampert, W. 1975. Archives fuer hydrobiology supplement 48 vol. 1. Pp. 108 - 137.

LITCHFIELD, J. T. and F. Wilcoxon. 1949. A simplifield method of evaluating dose/effect experiments. J. Of Pharmacol exp ther, 96: 99 - 113.

MONTOYA G., D. 1981. Prueba de toxicidad aguda CL50, con algunos organoclorados en dos especies ícticas continentales. Mojarra amarilla ***Petenia kraussi***, Steindachner (1978) y la tilapia ***Tilapia rendalli***. Pautenger (1898) a partir de ensayos exploratorios. Tesis de grado. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Cartagena. 81 p.

MOOR, J; y Ramamoorthy, S. 1983. Heavy metals in natural waters. Applied monitoring and impact assesment. Springer - Verlang. 286 p.

PALACIO, J. y C. M. Parra. 1989. Efectos de la contaminación acuática sobre los macroinvertebrados bénticos en el río Medellín y pruebas de toxicidad en peces. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Centro de Investigaciones Ambientales.

PELÁEZ, R. M. 1993. Evaluación de toxicidad aguda de aguas residuales industriales a través de bioensayos con microcrustáceos. Tesis de grado Universidad del Valle. Facultad de Ciencias. Plan de Estudios de Biología.

RAMÍREZ, A. y P. Zuluaga. 1991. Medición de la actividad eléctrica de ***Carassurus auratus*** expuestos a mercurio durante períodos prolongados. Tesis de grado. Departamento de Biología. Universidad de Antioquia. Medellín.

THRELKELD, S.T. 1987. *Daphnia* life history strategies and resource allocation patterns.

THURSTON, R. V. y otros (Eds.). 1979. A review of the EPA red book: quality criteria for water. Water quality section, american fisheries society. 1979. 313 p.

- USEPA, Committee on methods for toxicity test with aquatic organism. 1975. Methods for acute toxicity test with fish, macroinvertebrates and amphibians. US. Environmental protection agency. Ecological research series 660/3-75-009.56 p.
- USEPA. 1980. Physical, Chemical persistence and ecological effects testing; good laboratory practice standards (proposed rule). 40 CFR 772. Fed. Reg 45: 77353 - 77365, november 21, 1980.
- USEPA. 1980. Proposed good laboratory practice guidelines for toxicity testing. Paragraph 163.60 - 6. Fed. Reg. 45: 26377 - 26382, april 18, 1980.
- USEPA. 1984. Development of water quality - based permit limitations for toxic pollutants: national policy. Fed. Reg 49 (48): 9016 - 9019. Friday, march 9, 1984.
- USEPA. 1985. Water quality criteria. Federal register. Vol 50 (145): 30784 - 30796.
- USEPA. 1986. Taxonomy of *Ceriodaphnia* (crustacea: cladocera) in U.S. Environmental protection agency cultures. D. B. Berner U. S. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring and Support Laboratory. Cincinnati OH 45268 EPA/600/4 - 86/032.
- ZÚÑIGA de C. 1987. Evaluación de toxicidad aguda de metales pesados a través de bioensayos con el microcrustáceo *Daphnia magna* (cladocera). Revista AINSA. N° 16 enero - junio de 1989. Pp. 77 - 95.

DIPLOMAS EN ADMINISTRACIÓN PARA INGENIEROS

1. DIPLOMA EN FUNDAMENTOS DE LA GERENCIA PARA INGENIEROS

OBJETIVO: Ofrecer a los ingenieros las herramientas gerenciales básicas que les permitan su formación y práctica administrativa y habilitarse para estudios posteriores en esta área.

Fecha de Inicio: 16 de febrero de 1998

- 1 Los modelos administrativos (35 Horas)
- 2 Finanzas (45 horas)
- 3 Gestión Tecnológica I (35 horas)
- 4 Aseguramiento de la calidad (Normas ISO 9000, ISO 14000) (45 horas)

2. DIPLOMA EN FUNDAMENTOS DEL ORDENAMIENTO INTERNACIONAL PARA INGENIEROS

OBJETIVO: Ubicar a los ingenieros en las realidades de la globalización y de la internacionalización para que puedan incursionar con sus profesiones en este ambiente y además fundamentar estudios avanzados de la Gerencia de la Informática.

Fecha de inicio: julio 6 de 1998

- 1 Gestión Tecnológica III (Negociación) (30 horas)
- 2 Gerencia de la comercialización (30 horas)
- 3 Economía Internacional (45 horas)
- 4 Negocios Internacionales (45 horas)

5. DIPLOMA EN GESTION TECNOLÓGICA

OBJETIVO: Brindar a los profesionales los conocimientos e instrumentos básicos para el estudio, evaluación, aplicación y negociación de la tecnología.

Fecha de Inicio 27 de abril

- 1. Gestión Tecnológica I. (45 horas)
Conceptos fundamentales.
Tendencias del desarrollo tecnológico.
Planeación del desarrollo tecnológico.
- 2. Gestión tecnológica II (45 horas)
Formulación y evaluación de proyectos

3. DIPLOMA EN GERENCIA DE LA PRODUCTIVIDAD Y LA CALIDAD PARA INGENIEROS

OBJETIVO: Introducir a los ingenieros en los conceptos e instrumentos de las técnicas de apoyo a la calidad y la productividad.

Fecha de inicio: 16 de febrero

- 1 Los Modelos Administrativos (35 horas)
- 2 La Gestión Fundamentada en los Procesos (30 horas)
- 3 Aseguramiento de la calidad (Normas ISO 9000, ISO 14000) (45 horas)
- 4 Proceso de Certificación (45 horas)

4. DIPLOMA EN SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTOS

OBJETIVO: Ofrecer los conceptos y técnicas básicas, que utiliza la inteligencia artificial, para respaldar la búsqueda de soluciones computacionales a problemas complejos con base en conocimientos, que se encuentren o no formalizados.

Fecha de Inicio: 20 de abril de 1998

- 1 Modelos de Representación de Conocimientos (40 horas)
- 2 Métodos de Solución a Problemas (40 horas)
- 3 Sistemas Expertos, Ingeniería de Conocimiento, y Aprendizaje(40 horas)
- 4 Sistemas Basados en Casos (40 horas)

- 3. Gestión tecnológica III (45 horas)
Contratación de Tecnología
Propiedad Intelectual
Legislación Comercial

- 4. Aseguramiento de la Calidad (Normas ISO 9000, ISO 14000) (45 horas)
Estructura General de las Normas
Contenido y alcance de Normas
Especialización de las normas por sectores y tipos de empresas
Aplicabilidad de las normas

NOTA: Los diplomas 1,2 y 3 se pueden considerar como la prueba de admisión para la Especialización en GERENCIA DE LA INFORMÁTICA que ofreceremos posteriormente.

PARA RESERVAR SU CUPO, LE SOLICITAMOS HACER PREINSCRIPCIÓN TELEFÓNICA EN EL CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA. TELÉFONOS 2105517, 2105548 TELEFAX 2105518

CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA FACULTAD DE INGENIERÍA

- ◆ Somos un centro especializado en educación continuada, actualización y capacitación en los diferentes temas relacionados con la ingeniería y sus áreas afines.
- ◆ Nos preocupamos por llevar a nuestro público programas de extensión, en la modalidad de cursos, seminarios, foros, talleres y eventos similares, dirigidos preferiblemente a personas con formación superior.
- ◆ Adelantamos programas de proyección de la Facultad de Ingeniería a través de convenios institucionales y de relaciones con el sector productivo.
- ◆ Organizamos seminarios, congresos, diplomados, y cursos de actualización según las necesidades de Empresas o Instituciones de la región o del país.

Nuestras actividades buscan rebasar el ofrecimiento de cursos aislados y por eso estamos planeando ofrecer ciclos de capacitación en diferentes temas, por cuya participación podamos otorgar una acreditación equivalente a un diplomado, en lugar de un certificado de asistencia por cada curso individual.

- ◆ Contamos con conferencistas altamente calificados y de reconocida experiencia, entre los profesores de la Facultad y con expertos que podemos contactar según las necesidades.
- ◆
- ◆ Somos conscientes de la seriedad y el cuidado que requiere cada uno de nuestros eventos. Por eso hemos conformado un equipo de trabajo capacitado en la organización y ejecución de estas actividades. Disponemos de auditorios especialmente dotados, con equipos audiovisuales y con salas de microcomputadores en nuestra Facultad y en otras dependencias universitarias.
- ◆
- ◆ Gustosamente atendemos las inquietudes y solicitudes de personas e instituciones que requieran capacitación en estas áreas.

CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA

Bloque 21 Oficina 136

Teléfonos 2105515 - 2105517 Telefax 2105518

e-mail: ceset@nutibara.udea.edu.co

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIPLOMAS EN EL ÁREA DE INFORMÁTICA

DIPLOMA EN GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

- Algoritmos y Estructuras de Datos
 - Administración de la Información
 - Gestión Tecnológica y evaluación de proyectos
 - Administración de las Bases de Datos (ORACLE)
- DURACIÓN:** 160 horas **INICIA:** Enero 26/98

DIPLOMA EN GESTIÓN DE SISTEMAS ORIENTADOS A OBJETOS

- Programación orientada a objetos
 - Algoritmos y Estructuras de Datos
 - Ingeniería de Software
 - Nuevas Tendencias en las Bases de Datos.
- DURACIÓN:** 165 horas **INICIA:** Enero 26/98

DIPLOMA EN INGENIERÍA DE SOFTWARE

- Metodología para la formulación de proyectos
 - Administración de la Información
 - Ingeniería de Software
 - Comunicación de Datos
 - Programación Orientada a Objetos
- DURACIÓN:** 180 horas **INICIA:** Enero 26/98

DIPLOMA EN OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE LA INFORMACIÓN

- Algoritmos y Estructuras de Datos
 - Bases de Datos Relacional
 - Sistemas Manejadores de Bases de Datos
 - Administración de las Bases de Datos.
- DURACIÓN:** 165 horas **INICIA:** Enero 26/98

DIPLOMA EN PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS

- Programación orientada a objetos
 - Diseño de clases contenedoras (Algoritmos y Estructuras de Datos.
 - Manejo de Estructuras de Datos bajo Windows
 - Programación avanzada
- Visual Basic - Visual C++
- DURACIÓN:** 160 HORAS **INICIA:** Enero 26/98

DIPLOMA EN NUEVAS TENDENCIAS EN BASES DE DATOS

- Bases de Datos Relacionales
 - Bases de Datos Orientados a Objetos
 - Bases de Datos Deductivas o Bases de Datos Distribuidas
 - Sistemas de Información Geográfica
- DURACIÓN:** 165 horas **INICIA:** Junio 16/98

DIPLOMA EN BASES DE DATOS AVANZADAS

- Bases de Datos Relacionales
 - Nuevas Tendencias en Bases de Datos
 - Bases de Datos en ambientes distribuidos
 - Data Warehouse
- DURACIÓN:** 165 horas **INICIA:** Junio 16/98

DIPLOMA EN GESTIÓN AVANZADA DE LA INFORMACIÓN

- Sistemas Manejadores de Bases de Datos
 - Nuevas Tendencias en Bases de Datos
 - Bases de Datos en un Ambiente Distribuido
 - Data Warehouse.
- DURACIÓN:** 165 horas **INICIA:** Sept. 7/98

INFORMES
CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA
Bloque 21 Oficina 136
Teléfonos 2105515 - 2105517 Telefax 2105518
e-mail: ceset@nutibara.udea.edu.co

REVISTA FACULTAD DE INGENIERIA

CUPON DE SUSCRIPCION

Suscripción y factura a nombre de: _____

Dirección de envío: _____

Tel. _____ Fax: _____

Residencia: _____ Oficina: _____

Ciudad: _____ País: _____

Suscripción a partir del número _____

Fecha: _____

Firma: _____

Cheque N° _____ Banco: _____ Ciudad: _____

Efectivo: _____

Valor de la suscripción (4 números):

* Colombia	\$ 20.000
* América Latina	US \$ 85
* Norteamérica y Europa	US \$ 117

IMPORTANTE:

Todo pago se hace a nombre de: Universidad de Antioquia - CIA -, Centro de Costo 8703.

Para su comodidad, usted puede cancelar en cheque y enviarlo al A.A. 1226 o consignar el valor de la suscripción en la Cuenta Nacional N° 180-01077-9 del Banco Popular, en cualquier oficina del país, a nombre de la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA -CIA-, Centro de Costo 8703.

Si usted paga por este sistema, debe sacar una fotocopia del recibo de consignación y enviarla junto con la suscripción.

NOTA: Los precios en dólares incluyen el valor del correo y la transferencia.

- La fecha límite de entrega de artículos para el próximo número, será el día 15 de febrero/98.

*Esta Revista se terminó de imprimir
en los talleres gráficos de la
Empresa Cooperativa de Impresores
de Artes Gráficas de Antioquia.*

COOIMPRESOS,

Calle 48 No. 41-18

Tel: 239 39 55 Fax: 239 54 75

Medellin - Colombia

en el mes de diciembre de 1997