

## INFLUENCIA DEL SODIO EN EL TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO UN REACTOR UASB

NANCY C. RINCÓN L., ALTAMIRA R. DÍAZ M., ELISABETH H.  
BEHLING Q., ALEJANDRO A. ESCORIHUELA B., DAIMARYS  
MARTÍNEZ U., MAGALY J. CHÁVEZ D., ELSA D. CHACÍN R.  
Y NOLA M. FERNÁNDEZ A.<sup>1</sup>

Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Escuela de  
Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, La Universidad del Zulia,  
Apartado 526, Maracaibo 4001-A, Estado Zulia, Venezuela

**RESUMEN.**- Esta investigación determinó el efecto de la concentración de Sodio sobre diferentes parámetros de la digestión anaeróbica (pH, producción de metano y remoción de DQO), y el efecto antagónico del Potasio sobre el Sodio para recuperarse de la inhibición. Un reactor tipo UASB fue inoculado con un lodo anaeróbico proveniente de una industria cervecera bajo condiciones mesofílicas. La carga orgánica aplicada fue de 5.5 mL/min con un tiempo de retención de 24 horas. Las cargas orgánicas aplicadas fueron de 3, 4 y 6 kg/DQOm<sup>3</sup>d equivalentes a una DQO influente de 1.5, 2.0 y 3.0 kg/L respectivamente. La concentración de Sodio de 5.5 gr/L fue capaz de inhibir el reactor; esto se manifestó en los cambios sobre la remoción de DQO, producción de metano y pH del sistema. También, una concentración de Potasio de 2.0 gr/L contrarresta el efecto inhibitorio del Sodio, en la cual el sistema fue capaz de alcanzar las condiciones de estabilidad. *Recibido:* 02 Diciembre 1998, *aceptado:* 29 Marzo 1999.

**Palabras claves:** Tratamiento anaeróbico, reactor UASB, aguas residuales, inhibición, Sodio, Potasio.

<sup>1</sup>Autor para correspondencia.

## EFFECT OF SODIUM IN ANAEROBIC TREATMENT OF RESIDUAL WATERS USING AN UASB REACTOR

**ABSTRACT.-** We determined the effect of Sodium on different anaerobic digestion parameters (pH, methane production and COD removal), and secondly, the antagonistic effect of Potassium on Sodium to overcome the inhibition. An UASB reactor was inoculated with an anaerobic sludge (under mesophilic conditions) from a brewery. The hydraulic load applied was 5.5 mL/min with a 24 hour retention time. The organic loads applied were 3, 4 and 6 kg/CODm<sup>3</sup>d equivalent to an influent COD of 1.5, 2.0 and 3.0 kg/L respectively. A Sodium concentration of 5.5 gr/L inhibited the reactor, and was manifested in the system via changes in COD removal, methane production and pH. Also, a Potassium concentration of 2.0 gr/L can counteract the inhibitory effect of Sodium, allowing the system to stabilize again. *Received:* 02 December 1998, *accepted:* 29 March 1999.

**Key words:** Anaerobic treatment, UASB reactor, residual waters, wastewater, inhibition, Sodium, Potassium.

### INTRODUCCIÓN

El tratamiento anaeróbico de aguas residuales es de gran importancia en la obtención del metano utilizado como recurso energético (Behling *et al.* 1996). El proceso es complejo e intervienen varios parámetros que influyen sobre la actividad de los consorcios bacterianos presentes en el tratamiento, como temperatura, pH, ácidos volátiles e iones. La presencia de trazas de iones metálicos como el Sodio estimula el proceso de la metanogénesis (Chirinos y Urdaneta 1996); pero a elevadas concentraciones, este ion disminuye la eficiencia del tratamiento anaeróbico, debido a su acción como un inhibidor fuerte (Méndez *et al.* 1995, Kugelman y McCarty 1965). Las concentraciones elevadas de sales causan la deshidratación de las células bacterianas debido a

las alteraciones producidas en la presión osmótica intracelular (De Baere *et al.* 1984).

En la presente investigación se determinará el efecto de inhibición del catión metálico liviano, Sodio sobre la digestión anaeróbica de las aguas residuales en un reactor manto de lodo de flujo ascendente (UASB) a flujo continuo, y el efecto antagónico que ejerce el Potasio sobre el Sodio.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un reactor UASB elaborado con plexiglass de base recta con una capa de piedra picada en el fondo, conectado a un colector de gas en la parte superior. El reactor se mantuvo a una temperatura de  $37 \pm 1$  °C y un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 24 horas, y presenta las siguientes características: Volumen útil = 4150 ml, volumen vacío = 4570 ml, altura del agregado = 5 cm, altura del cono = 10 cm, altura total = 65.70 cm, cámara de biogas = 420 ml, diámetro externo del cilindro = 10.5 cm, diámetro interno del cilindro = 9.5 cm, diámetro máximo del cono = 9.5 cm, y el diámetro mínimo del cono = 6 cm.

El volumen vacío del reactor (4.57 L) fue ocupado en un 30 % al inocularlo con lodo pregranulado proveniente de una industria cervecera. El reactor comenzó a funcionar con la alimentación de agua residual sintética (sacarosa) por carga, durante 48 horas y luego a flujo continuo utilizando una bomba peristáltica. El gas producido en el reactor fue medido por desplazamiento del agua en un tanque abierto a la atmósfera y conectado a un colector de gas.

*pH.*- El pH del efluente fue determinado mediante el uso de un pHmetro (Chemtrix 400) con electrodo de vidrio.

*Metano.*- El metano presente en las muestras de biogas se determinó por cromatografía de gases, utilizando un cromatógrafo de gas (Perkin-Elmer Autosystem) con una columna de vidrio empacada W/Hayesep Q 80/100 6'  $\cdot \frac{1}{4}$   $\cdot$  2 mm (Xpertk). El instrumento fue

operado a una temperatura de horno de 150 °C, y el inyector a 200 °C. El gas de arrastre utilizado fue Nitrógeno, libre de Oxígeno, con una tasa de flujo de 0.02 L/min, y la tubería conectada a un filtro purificador de gas modelo DGP-125-R2. Las muestras de biogas (200 µL) fueron inyectadas al cromatógrafo con la ayuda de una jeringa cromatográfica. Los compuestos eluidos de la columna fueron cuantificados y determinados por un detector de ionización a la llama (FID) a una temperatura de 200 °C. La cuantificación fue realizada por el método estándar externo y los resultados fueron expresados en porcentaje de metano (CH<sub>4</sub>).

*Demanda Química de Oxígeno (DQO).*- Se utilizó el método de digestión Hach aprobada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA-USA 1979). Las alícuotas del efluente (2 mL de muestra) fueron añadidos en viales contentivos de reactivos premedidos (mezcla de ácido sulfúrico concentrado 99 % y sulfato de plata 99 %, dicromato de potasio 0.25 M y sulfato de mercurio), los cuales fueron colocados en la plataforma del equipo de digestión (COD Reactor Hach, modelo 45600) durante 2 horas a una temperatura de 150 °C. La determinación de la DQO fue realizada por el método colorimétrico usando un espectrómetro (Spectronic 20D) y expresado en mg/L.

*Sodio y Potasio.*- Las concentraciones de Sodio y Potasio (0.1, 0.3 y 0.5 gr/L de cada ion) fueron medidas con el uso de un fotómetro de llama (Corning flame photometer, modelo 410C), utilizando una mezcla de gases (propano y metano) a 15 psi, un patrón de concentración de 140.0 mmol/L. Las lecturas fueron realizadas a una longitud de onda de 589 para el ion Sodio y de 768 nm para el ion Potasio.

*Agua residual sintética.*- La composición del agua residual con la cual fue alimentado el reactor se presenta en la Tabla 1. Las concentraciones utilizadas en la fase experimental fueron las siguientes: 1.5, 2.0 y 3.0 gr/L con una proporción de C:N:P de 100:5:1 y un pH ajustado a 6.5-7.5 con la adición de bicarbonato de potasio.

TABLA 1. Composición del agua residual sintética.

CONSTITUYENTE	CONCENTRACIÓN DEL SUBSTRATO
Sacarosa	100 - 400 g/L
NH <sub>4</sub> Cl	0.28 - 2.26 g/L
Caldo Lactosado (*)	0.50 g/L
NaHCO <sub>3</sub>	0.50 - 3.00 g/L
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.027 - 0.23 g/L
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.035 - 0.28 g/L
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.13 g/L
MgCl <sub>2</sub>	0.085 g/L
CaCl <sub>2</sub>	0.04 g/L
FeCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	0.64 g/L
NiSO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O	500 µg/L
MnCl <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	500 µg/L
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	500 µg/L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	100 µg/L
CoCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O	50 µg/L
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	5 µg/L
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub>	40 µg/L

\* El Caldo Lactosado fue utilizado en las cargas 3 y 4 kg DQO/m<sup>3</sup>d.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### pH

Para garantizar el desarrollo adecuado de las bacterias metanogénicas, se ajustó el pH con bicarbonato de sodio desde 0.5 hasta 3.0 gr/L (Ling *et al.* 1991) para lograr la estabilización del proceso en los rangos óptimos (6.5 y 7.5). En la Figura 1 se muestran las variaciones del pH con respecto a las diferentes cargas del efluente (expresado como DQO) y con la adición de los iones Sodio y Potasio.

Al adicionar una carga inicial de 3 kg DQO/m<sup>3</sup>, se observó un valor de pH bajo ( $\approx$  4), por lo que se añadió el bicarbonato de sodio

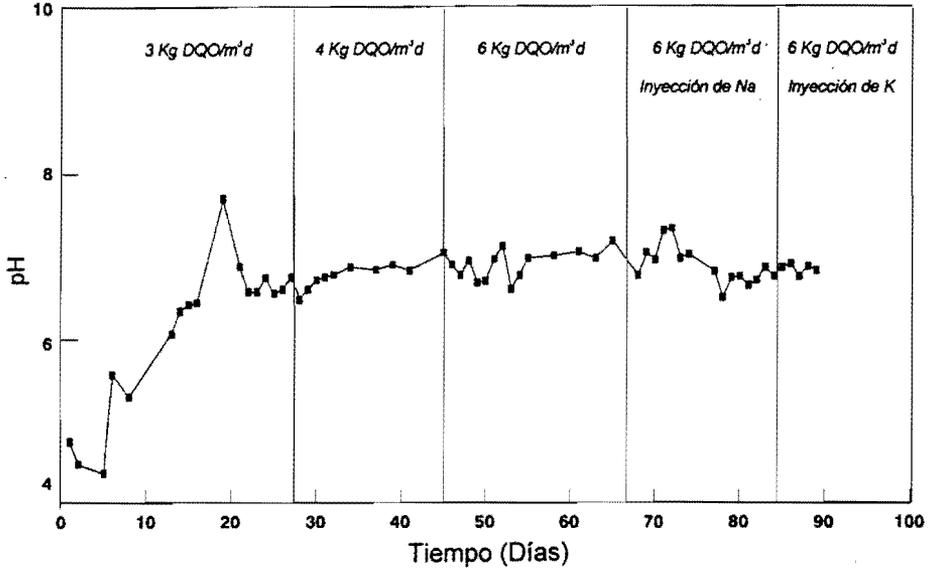


FIGURA 1. Variación del pH en el efluente.

(1.5 gr/L) hasta el día ocho. Luego se incrementó la cantidad del álcali (2.8 gr/L) alcanzando un pH de 6.63, en el cual se logran condiciones estables para el desarrollo bacteriano. Con las cargas posteriores de 4 y 6 kg DQO/m<sup>3</sup>, no se observaron variaciones significativas en los valores del pH (entre 6.8 y 6.9), manteniendo la cantidad del álcali, y manifestando la creación de la condición amortiguadora en el reactor UASB, estabilizando el sistema anaeróbico. Para la carga orgánica de 6 kg DQO/m<sup>3</sup> fueron añadidas cantidades de Sodio en forma gradual (rangos de 0.2 a 5.5 gr/L) durante 23 días, observándose que no hubo variaciones en el valor del pH (de 6.90). Posteriormente, fueron suministradas porciones graduales de ion Potasio (0.055 – 0.2 gr/L) por un periodo de cinco días, con la misma carga orgánica (6 kg DQO/m<sup>3</sup>), obteniéndose resultados similares a los arrojados para el ion Sodio (0.2 – 5.5 gr/L), a un valor de pH de 6.9. Las diferentes concentraciones añadidas de Sodio y Potasio no alteraron la estabilidad del sistema. Sin embargo, De Baere *et al.* (1984) estableció que el incremento de la concentración de Sodio conduce a la disminución del pH, desde 6.8

hasta 5.4, lo cual no se manifestó en esta investigación. Por ello, se infiere que existe una relación con las características químicas del sustrato utilizado, en este caso es muy probable que la sacarosa en su proceso de descomposición origina un equilibrio en los valores de pH de la solución.

### **Remoción Orgánica**

Para permitir el crecimiento de las bacterias metanogénicas en el reactor, el proceso se inició con cargas orgánicas bajas de 3 kg DQO /m<sup>3</sup>d, observando un porcentaje de remoción entre 42.53 % y 73.96 %, mientras que con una carga orgánica de 4 kg DQO/m<sup>3</sup>d resultó un porcentaje de remoción de 86.53 %.

La adición del Sodio al sistema resultó en la disminución del porcentaje de remoción hasta 43.63 %, por lo que se considera que el Sodio es capaz de inducir la inhibición de los microorganismos en los sistemas anaeróbicos (concentración de inhibición: 5.5 gr/L), mediante perturbaciones como la disrupción de las membranas celulares, desnaturalización de enzimas y desecación celular (Woolard y Irvine 1994). Posteriormente, se añadió al sistema una concentración de Potasio de 0.55 gr/L para un porcentaje de remoción de 41.63 %. Luego se incrementó gradualmente la concentración hasta 2.0 gr/L, resultando en un aumento del porcentaje de remoción a 77.55 %. En la Figura 2 se presentan las variaciones de la eficiencia de remoción con respecto a las diferentes cargas orgánicas expresadas en kg DQO/m<sup>3</sup> y el tiempo en días.

### **Producción de Metano**

En la Tabla 2 se presentan los diferentes valores de metano producidos para cada carga orgánica (kg DQO/m<sup>3</sup>d), indicando que el reactor alcanza las condiciones de estabilidad requeridas.

La adición de Sodio se inició con 0.2 gr/L, observándose la disminución de metano (60.6 %). Luego, la concentración del Sodio se incrementó gradualmente hasta alcanzar la inhibición del sistema

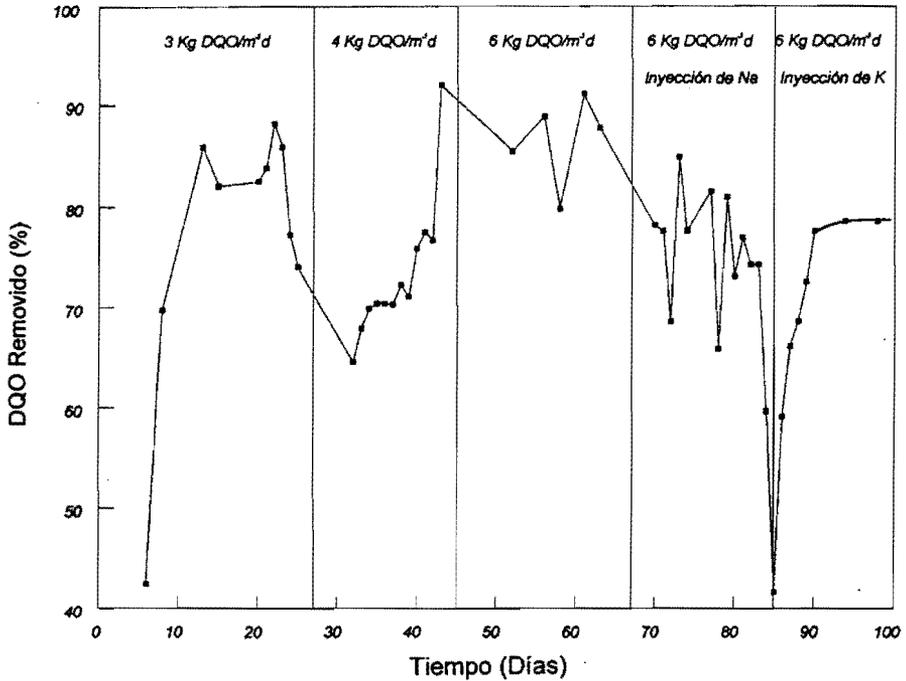


FIGURA 2. Variación de la eficiencia de remoción de DQO.

TABLA 2. Relación entre la carga orgánica y metano producido.

CARGA ORGÁNICA (Kg DQO m/d)	METANO
4	78.36
6	80.32
6+iny Na	60.60
6+iny K	84.24

(5.5 gr/L). Posteriormente se comenzó a adicionar en forma gradual el Potasio al sistema en concentraciones desde 0.55 gr/L hasta 2 gr/L, produciendo un 84.24 % de metano, alcanzando el sistema anaeróbico su estabilización (Fig. 3).

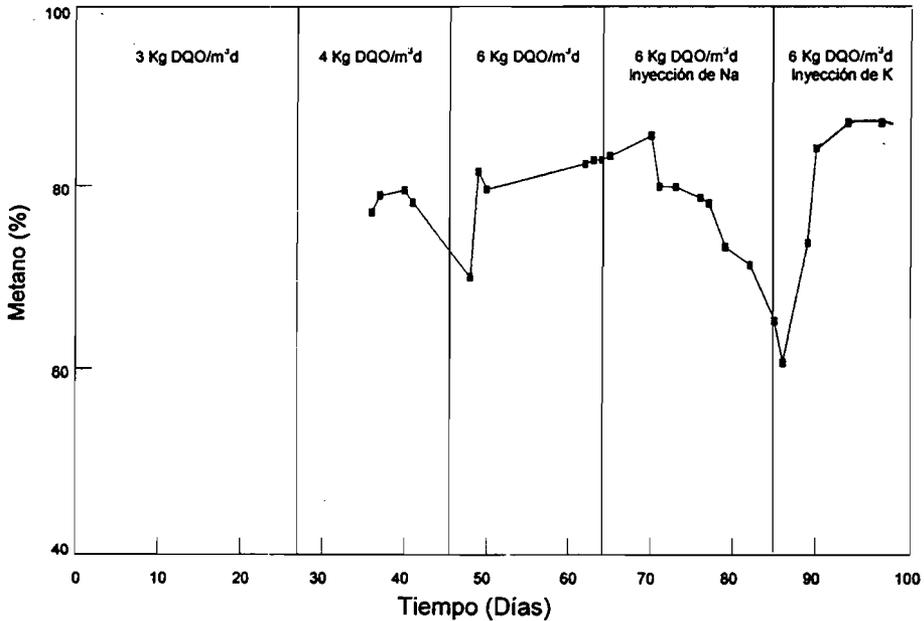


FIGURA 3. Variación del porcentaje de metano.

### Sodio y Potasio

Durante la fase de inyección de Sodio (5.5 gr/L) al sistema, se observó la disminución de la producción de metano en un 60.6 % estableciendo la inhibición de los microorganismos presentes en el reactor. Tradicionalmente se ha considerado que los desechos con presencia de cationes alcalinos, básicamente Sodio, no pueden ser tratados eficientemente por la digestión anaeróbica debido a sus efectos tóxicos e inhibitorios (Méndez *et al.* 1995). El transporte de nutrientes esenciales y los factores de crecimiento están enlazados con los gradientes de iones Sodio, puesto que los altos contenidos de este ion disruptora las membranas celulares, desnaturaliza las enzimas, y causa la desecación por fuerzas osmóticas que son letales a muchos microorganismos utilizados en el tratamiento de desechos convencionales (Woolard *et al.* 1994). Posteriormente, se inició la adición gradual del Potasio en concentraciones desde 5.5 a 2.0 gr/L, las cuales permitieron la elevación de la producción de metano

(84.24 %) y la estabilización del sistema, logrando la reactivación de los microorganismos. Los iones compatibles al Sodio, como el Potasio, equilibran la fuerza iónica del citoplasma celular y el ambiente externo (Woolard y Irvine 1994), además este elemento es un catión crítico para las bacterias requerido por algunas enzimas involucradas en la síntesis proteica, lo que podría ocasionar diferencias en la cantidad y carácter de las proteínas asociadas con los bioflóculos (gránulos de digestión) (Novack *et al.* 1998). Esto indica que los efectos tóxicos e inhibitorios del Sodio pueden ser antagonizados por otros iones como Potasio y Calcio, en concentraciones adecuadas, así como por la posibilidad de adaptación de las bacterias metanogénicas a las concentraciones elevadas de Sodio, en rangos mesofílicos.

Estudios realizados en reactores por carga y flujo continuo han establecido que la adición de Sodio induce a la inhibición del proceso por la desintegración de los flóculos, mientras que el suministro de Potasio es capaz de conducir a la estabilidad del sistema (Novak *et al.* 1998). Sin embargo, en reactores de flujo semicontinuo se observa que las elevadas concentraciones de Sodio no representan problemas serios, puesto que los microorganismos alcanzan su recuperación a 24 - 65 gr/L de Sodio, mostrando resistencia a las elevadas concentraciones de este electrolito (De Baere *et al.* 1984).

Los resultados obtenidos por Novak *et al.* (1998), son comparables a los encontrados en esta investigación, en la cual se comprueba el efecto inhibitorio del Sodio y el efecto antagónico del ion Potasio, para sistemas de tratamiento anaeróbico utilizando reactores tipo UASB, lo cual establece la sensibilidad del sistema ante los desequilibrios producidos por los electrolitos.

### CONCLUSIONES

- 1) El catión metálico liviano Sodio, produce un efecto de inhibición sobre la digestión anaeróbica, de manera rápida a una concentración de 5.5 gr/L. En concentraciones bajas (0.2 - 0.3

gr/L) se comporta como un estimulador de la actividad microbiana.

- 2) El efecto antagónico que tiene el Potasio sobre el Sodio ocurre rápidamente, porque el sistema se logró desinhibir a una concentración de Potasio de 2.0 gr/L y concentración de Sodio de 5.5 gr/L.
- 3) La inhibición en el sistema se da por la disminución de la actividad microbiana, y ésta se refleja en los parámetros de remoción de carga orgánica y producción de metano.
- 4) El sistema anaeróbico utilizando un reactor tipo USAB, fue capaz de alcanzar la condición de estabilidad posterior al tratamiento de antagonismo aplicado durante el período de experimentación de esta investigación, lo cual establece la sensibilidad de este sistema.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, de La Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, por el financiamiento a esta investigación.

#### **LITERATURA CITADA**

- BEHLING, E., S. GARCIA, M. HERRERA, A. DIAZ, G. COLINA, E. GUTIERREZ, E. CHACIN Y N. FERNANDEZ. 1996. Medición de ácidos grasos volátiles por cromatografía gaseosa en la digestión anaeróbica. Bol. Centro Invest. Biol. 30(2): 173–185. Maracaibo, Venezuela.
- CHIRINOS, N. Y R. URDANETA. 1996. Estudio de tratamiento anaeróbico con diferentes sustratos en un sistema por carga. Trabajo Especial de Grado, La Univ. del Zulia, Maracaibo, 114 pp.

- DE BAERE, L., M. DEVOCHT, P. VAN ASSCHE Y W. VERSTRAETE. 1984. Influence of High NaCl and NH<sub>4</sub>Cl salt levels on methanogenic associations. *Water Research* 18(5): 543-548.
- EPA. 1979. Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, EPA 652/1-79-01, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- KUGELMAN, I., Y P. MCCARTY. 1965. Cation toxicity and stimulation in anaerobic waste treatment. *J. Water Pollution Control Federation* 37 (4): 97-116.
- LAFRANCE, P. Y M. MAZET. 1989. Adsorption of humic substances in the presence of sodium salts. *American Water Works Associ. J.* 81(4): 155-163.
- LIN, K., Y Z. YANG. 1991. Technical review on the UASB process. *Internat. J. Environmental Studies* 39: 203-222.
- MÉNDEZ, R., J. LEMA Y M. SOTO. 1995. Treatment of seafood-processing wastewater in mesophilic and termophilic anaerobic filters. *Water Environment Research* 67(1): 33-45.
- NOVAK, J., N. LOVE, M. SMITH Y E. WHEELER. 1998. The effect of cationic salt addition on the settling and dewatering properties of an industrial sludge. *Water Environmental Research* 70(5): 984-996.
- WOOLARD, C. Y R. IRVINE. 1994. Biological treatment of hypersaline wastewater by a biofilm of halophilic bacteria. *Water Environment Research* 66(3): 230-235.

*Avance*

**CAMBIOS MORFOLÓGICOS COMPATIBLES  
CON APOPTOSIS INDUCIDOS POR EL CADMIO EN  
POBLACIONES MERISTEMÁTICAS DE  
CEBOLLA (*ALLIUM CEPA* L.)**

**MORPHOLOGICAL CHANGES COMPATIBLE  
WITH APOPTOSIS INDUCED BY CADMIUM IN  
MERISTEMATIC POPULATIONS OF  
ONION (*ALLIUM CEPA* L.)**

Actualmente, Letty Marcano, Ingrid Carruyo, Xiomara Montiel y María Bracho, investigadores del Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias, de La Universidad del Zulia<sup>1</sup>, están realizando un análisis de las alteraciones ultraestructurales inducidas por el Cadmio ( $Cd^{+2}$ ) en células meristemáticas de cebolla (*Allium cepa* L.) para tratar de caracterizar los cambios morfológicos producidos por la exposición a este metal. El Cadmio es un metal pesado cuya presencia en la naturaleza es baja (0.1- 0.2 ppm), sin embargo, presenta una prolongada vida media y un poder de acumulación alto, por lo que se considera un agente causal de contaminación ambiental (Bako *et al.* 1982).

Estudios preliminares han reportado al Cadmio como un posible inductor de la apoptosis (Hamada *et al.* 1996); esto aunado al hecho de que las células vegetales son consideradas un sistema donde se dan básicamente los mismos mecanismo de control que rigen los procesos de diferenciación celular en células animales, llevó a considerar la posibilidad de que el Cadmio podría actuar como un inductor de la muerte celular programada en cultivos celulares de cebolla (*Allium cepa* L.)

Varios estudios han demostrado los efectos genotóxicos y mitotóxicos del Cadmio en células vegetales (Liu *et al.* 1992, Mo y Li 1992, Zhang y Yang 1994). Marcano *et al.* (1998) reportan cambios morfológicos de diversa índole observables por microscopía

óptica, compatibles con los descritos en la apoptosis en células animales (Meikrantz y Schlegel 1995, Alles *et al.* 1991).

La toxicidad del Cadmio también ha sido reportada en cultivos de células animales: líneas celulares de Hanster chinese (CHO) (Deaven y Cambell 1980), células de riñón humano (293) (Hamada *et al.* 1996), cultivo de células Pc12 (Hechtenberg *et al.* 1996).

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Como material biológico, están utilizando meristemos de cebolla (*Allium cepa* L.), desarrollados en agua filtrada, renovada cada 24 horas, a una temperatura de  $25 \pm 0.5$  °C. Los meristemos se colocaron en las mismas condiciones de cultivo, en una solución acuosa de cloruro de cadmio (Sigma, Co.), a concentraciones de  $3.4 \times 10^{-5}$  M y  $7.4 \times 10^{-5}$  M, por 24 y 48 horas, a las cuales se observaron cambios por microscopía óptica. En el control, la solución de Cadmio es sustituida por agua. Los tratamientos son realizados por duplicado para cada tiempo y concentración. Se tomaron, al azar, de 2 a 3 raíces para ser fijadas inicialmente con glutaraldehído al 4 % y postfijadas con tetraóxido de osmio al 1 %; luego se realiza la infiltración e inclusión en la resina poliéster Araldita 502 y la posterior tinción con acetato de uranilo al 3 % y citrato de plomo al 1 %. De un promedio de 3000 células por meristemos a microscopía óptica, aproximadamente 300 células ya han sido analizadas ultraestructuralmente.

### **RESULTADOS PRELIMINARES Y DISCUSIÓN**

En la Figura 1, se observa una célula tratada con  $\text{Cd}^{+2}$  a una concentración de  $3.4 \times 10^{-5}$  M por 24 h, donde se evidencia la cromatina muy condensada que tiende a organizarse originando pequeñas masas regulares y la formación de una zona de muy baja densidad a los electrones en el nucleolo. Algunos de estos cambios coinciden con los observados en la célula apoptótica animal (Hamada *et al.* 1980, Marloni y Donelli 1992, Alles *et al.* 1991). A una concentración de  $7.4 \times 10^{-5}$  M por 48 h (Fig. 2), concentración

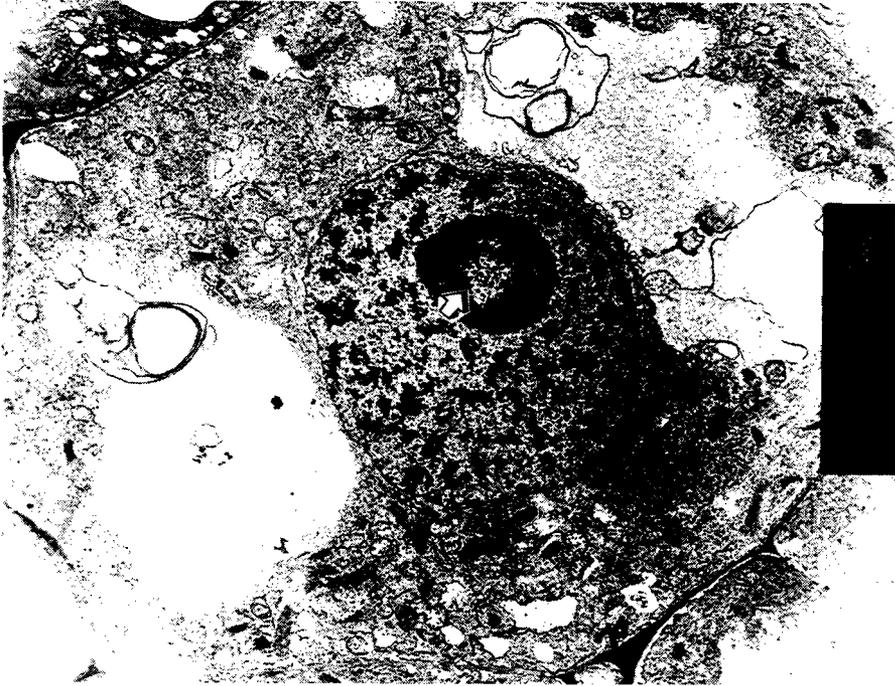


FIGURA 1. Célula tratada con  $\text{Cd}^{+2}$  ( $3.4 \times 10^{-5}$ ) por 24 h. Obsérvese la zona de baja densidad ( $\downarrow$ ) en el nucléolo, la cromatina condensada, cúmulos de cromatina y la integridad de la envoltura nuclear (13200 X).

a la cual el efecto tóxico del Cadmio es significativamente más deletéreo (Marcano *et al.* 1998), se observa la cromatina condensada adosada a la envoltura nuclear, aparienciaseudolobulada del núcleo, y la aparición de cuerpos redondeados de gran densidad electrónica, similares a los descritos como cuerpos apoptóticos en células animales (Alles *et al.* 1991, Stewart 1994, Sgonc and Wick 1994).

Hasta la fecha, no se han encontrado reportes de apoptosis en células vegetales. Aunque estos resultados no son concluyentes, los autores pueden postular la posibilidad de que el Cadmio es capaz de inducir cambios morfológicos en células vegetales semejantes a los descritos en células animales apoptóticas, presentando características

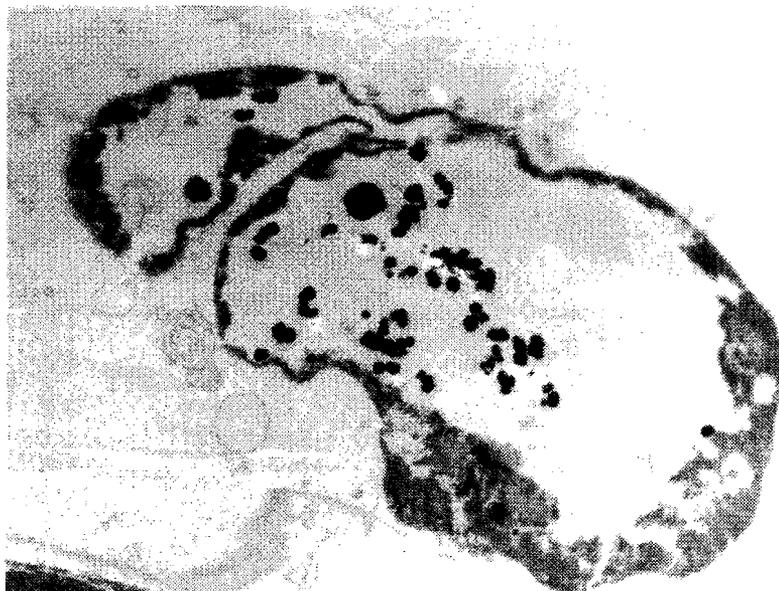


FIGURA 2. Núcleo de célula expuesta al  $\text{Cd}^{+2}$  a  $7.4 \times 10^{-5}$  M por 24 h. Se puede observar la forma pseudolobulada del núcleo con la cromatina condensada adosada a la envoltura nuclear. Cuerpos redondeados muy electrodensos (44000 X).

muy particulares propias de su fisiología.

En la actualidad se están realizando en el laboratorio las pruebas bioquímicas y citoquímicas reportadas para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de células apoptóticas, lo cual les permitirá corroborar los resultados obtenidos por microscopía electrónica.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) y a la División de Investigación de la Facultad Experimental de Ciencias, de La Universidad del Zulia, Maracaibo, por el financiamiento parcial de esta investigación.

**LITERATURA CITADA**

- ALLES, A., K. ALLEY Y J. C. BARRET. 1991. Apoptosis: A general comment. *FASEB J.* 5: 2127-2128.
- BAKO, G., E. SMITH, J. HANSON, Y R. DEWAR. 1982. The geographical distribution of high cadmium concentration in the enviroment and prostate cancer. *Aberta. Can. J. Public. Health* 73: 96-96.
- DEAVEN, L., A. y E. CABELL. 1980. Factors affecting the induction of chromosomal aberrations by Chinese hamster Cytogenet. *Cell. Genet.* 26: 251-260.
- HAMADA, T., T. SASAGURI, A. TANIMOTO, S. ARIMA SHIMAJIRI, T. ABE Y Y. SAGURI. 1996. Apoptosis of Human Kidney 293 Cells is Promoted by Polymerized Cadmium-Metallothionein. *Biophys. Res. Commun.* 219: 829-834.
- HECHETENBERG, S., T. SCHAFER, J. BENTERS Y D. BEYERSMANN. 1996. Effects of cadmium on cellular calcium and proto-oncogene expression. *Ann. Clin. Lab. Sci.* 26(6): 512-521.
- LIU, D. H., W. S. JIANG Y M. X. LI. 1992. Effects of Cadmium on root growth and cell division of *Allium cepa*. *Acta Sci. Circumstantiae.* 12: 339-406.
- MALORNI. W. Y G. DONELLI. 1992. Cell Death: General Feacture and Morphological Aspects. *Annals New York Academy Sciences* No. 551: 218-261.
- MARCANO, L., X. MONTEL, I. CARRUYO, M. BRACHO Y L. ATENCIO. 1998. Efecto Genético y Mitotóxico inducido por el Cadmio en Células Meristemáticas de cebolla (*Allium cepa*, L.). *Ciencias* 6(2): 92-96.
- MEIKRANTZ, W. Y R. NAD SCHLEGEL. 1995. Apoptosis and Cell Cycle. *J. Cell. Biochem.* 58: 160-174.

- MO, W. H. Y M. LI. 1992. Effects of CdCl<sub>2</sub> on the growth and mitosis of root tip cells in *Vicia faba*. *Chin. Bull. Bot.* 9: 30-34.
- SGONC, R. Y G. WICK. 1994. Method for the determination of Apoptosis. *Int Arch. Allergy. Immunol.* 105:327-332. 1994.
- STEWART, B. 1994. Mechanisms of Apoptosis: Integration of genetic, biochemical, and cellular indicators. *J. Nat. Cancer. Inst.* 86(17): 1286-1295.
- ZHANG. Y. Y X. YANG. 1994. The toxic effect of Cadmium on cell division and chromosomal morphology of *Hordeum vulgare*. *Mutation Research* 312: 121-126.

*Recibido:* 04 Agosto 1998, *aceptado:* 26 Marzo 1999.

**Palabras claves:** Apoptosis, células meristemáticas, Cadmio, *Allium cepa*.

<sup>1</sup> Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias, La Universidad del Zulia, Apartado 526, Maracaibo 4001-A, Venezuela. Telefax (061) 483012, e-mail: letty@iamnet.com.