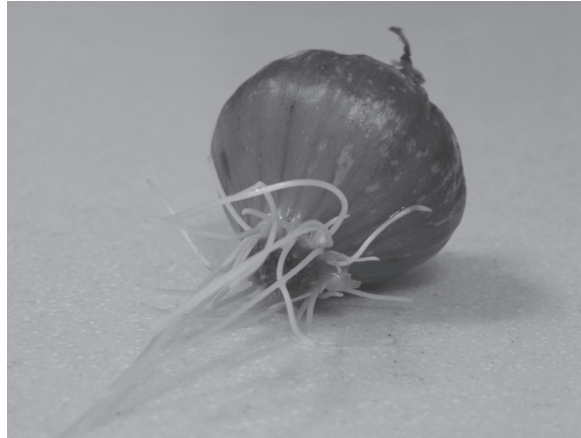


Efecto citotóxico del hipoclorito de sodio (NaClO), en células apicales de raíces de cebolla (*Allium cepa* L.)

Cytotoxic effect of sodium hypochlorite (NaClO) in apical cells of onion roots (*Allium cepa* L.)



LUIS ALFONSO CAUSIL V.^{1,3},
JOSE LUIS CORONADO G.²
LUIS FERNANDO VERBEL M.²
MARÍA FERNANDA VEGA J.²
KEINER ANTONIO DONADO E.²
CARLUIS PACHECO G.²

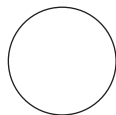
Raíces de cebolla.

Foto: J.L. Coronado G.

RESUMEN

El hipoclorito de sodio (NaClO), es un compuesto químico altamente tóxico y ampliamente utilizado por sus propiedades desinfectantes. Una de las especies vegetales más usadas para la detección de diferentes tipos de cambios genéticos causados por sustancias químicas es *Allium cepa* L. mediante la cual se hacen pruebas para la vigilancia del medio ambiente. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto citotóxico del hipoclorito de sodio (NaClO) en células apicales de raíces de cebolla (*Allium cepa* L.). Se prepararon cinco soluciones de hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones más una solución control con tres réplicas para cada tratamiento; se midió el crecimiento de las raíces durante 3 días, se cortaron los ápices sumergiéndose en ácido clorhídrico, posteriormente fueron teñidos con Aceto-Orceina y se observaron al microscopio; se calculó el índice mitótico (IM) y se observaron las anomalías celulares (cromosómicas). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rangos múltiples mediante el método de diferencia mínima significativa (LSD). Los resultados mostraron que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ($P > 0,05$). La concentración donde se presentó un mayor IM fue de 1 ppm. Se evidenciaron las anomalías celulares: en anafase, evidenciando puentes entre cromosomas, hiperchromasia, lesiones nucleares y rompimiento de cromosomas en anafase y metafase. Los resultados evidenciaron que *Allium cepa* es una especie que ofrece un modelo experimental para evaluar el efecto citotóxico, en este caso del hipoclorito de sodio, el cual generó anomalías celulares (cromosómicas) en todas las concentraciones.

Palabras clave adicionales: índice mitótico, metafase, anafase, anomalías.



¹ Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología, Laboratorio de Genética, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia).

² Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia).

³ Autor para correspondencia. luiscausilvargas@gmail.com

ABSTRACT

(NaClO) sodium hypochlorite is a highly toxic chemical compound widely used because of its disinfectant properties. One of the most commonly used plants to detect different types of genetic changes caused by chemical substances is *Allium cepa* L., in tests for environmental monitoring. The objective of this research was to evaluate the cytotoxic effect of sodium hypochlorite (NaClO) in apical cells of onion roots (*Allium strain* L.). Five sodium hypochlorite solutions were prepared at different concentrations, in addition to a control solution, with three replications for each treatment; for 3 days, the growth of the roots was measured; the apices were cut submerging them into hydrochloric acid, subsequently dyed with Aceto-Orcein and were observed under a microscope; the mitotic index (MI) was calculated and the cell anomalies were observed (chromosomal). An analysis of variance (ANOVA) and multiple range tests using the Least Significant Difference method (LSD) were performed. The results showed that there was not a statistically significant difference between the treatments ($P \leq 0.05$). The concentration with the highest MI was 1 ppm. The following cellular abnormalities were evidenced: bridge between chromosomes in anaphase, chromatin, nuclear injuries, chromosome breakage in anaphase and metaphase. The results showed that *Allium cepa* L. is a species that offers an experimental model to evaluate the cytotoxic effect, in this case sodium hypochlorite, which generated cellular abnormalities (chromosomal) in all concentrations.

Additional key words: mitotic index, metaphase, anaphase, anomalies.

Fecha de recepción: 09-12-2016 Aprobado para publicación: 15-04-2017

INTRODUCCIÓN

El hipoclorito de sodio (NaClO), es un compuesto químico ampliamente utilizado por sus propiedades desinfectantes. Es un compuesto altamente tóxico por lo cual se vende en concentraciones relativamente bajas a nivel comercial (0,5 a 5,25%) debido a los efectos tisulares que podría causar cuando no se manipula correctamente (Juárez y Lucas, 2001). Dentro de los usos más comunes se cuentan labores de limpieza doméstica, en industria para el tratamiento y potabilización del agua, como blanqueador de textiles y diversos procedimientos en medicina e investigación que requieren de condiciones asépticas como la limpieza de equipos, medios de cultivo y en odontología en campos como la endodoncia (Manrique *et al.*, 2011).

El vertimiento de residuos tóxicos a las aguas es un problema de salud pública de suma importancia; el uso común de soluciones que contienen hipoclorito lo convierte en uno de los principales componentes de las aguas residuales (Pathiratne *et al.*, 2015), está demostrado que estos compuestos al entrar en contacto con afluentes de agua naturales podrían afectar de manera directa a los organismos, de importancia ecológica como los peces (Shrivastava, 2015; Hemachandra y Pathiratne, 2016). Algunas plantas son utilizadas como bioindicadores para evaluar el efecto

que tienen los contaminantes químicos en los ecosistemas; esto es debido a que las plantas poseen algunas ventajas en comparación con otros organismos, debido a que pueden almacenarse en forma de semilla por períodos prolongados de tiempo, costo de mantenimiento mínimo, cromosomas de gran tamaño (Iannacone y Alvarino, 2005).

Los ápices radiculares de varias especies de plantas se han utilizado para el estudio inducido de aberraciones cromosómicas (CAs) y la presencia de micronúcleos (MNI); debido a que los meristemos de la raíz contienen una proporción alta de células en mitosis lo que facilita la incidencia de contaminantes tóxicos en células vegetales, específicamente en lo que tiene que ver con la reproducción celular (Prajitha y Thoppil, 2016). Una de las especies vegetales más empleadas para la detección de diferentes tipos de cambios genéticos causados por radiaciones y sustancias químicas es *Allium cepa* L. mediante la cual se hacen pruebas para la vigilancia del medio ambiente (Nefic *et al.*, 2013).

En un estudio realizado por Manrique *et al.* (2011), quienes evaluaron el potencial genotóxico del hipoclorito de sodio en bulbos de cebolla y semillas de lechuga como bioindicadores. encontraron que ocasiona

aberraciones mitóticas en las células que forman las zonas de crecimiento de las raíces e inhibición de la elongación de las mismas; donde llegando a la conclusión que el hipoclorito en altas concentraciones (250, 175, 50 y 25 ppm) podría causar daños irreparables en células vegetales.

La mayoría de las investigaciones realizadas por muchos autores concuerdan en que los ensayos con plantas son eficientes y confiables para pruebas de detección rápida y efectos sobre las células de productos químicos relacionados con mutagenicidad, efectos citotóxicos y aberración cromosómica; y la especie *Allium cepa* L. ha demostrado ser eficaz, altamente sensible y menos costosa, utilizado para las potenciales pruebas tanto en los procesos celulares mitóticos como meióticos (Khanna y Sharma, 2013). Por tal razón, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto citotóxico del hipoclorito de sodio (NaClO) en células apicales de raíces de cebolla derivado del proceso de división celular.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Este estudio se realizó en el laboratorio de genética de la Universidad de Córdoba ubicada a 8°47'15,71" N y 75°51'28,01" W, en la ciudad de Montería en el departamento de Córdoba, Caribe colombiano. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) la temperatura promedio es de 27,8°C. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 76 y 82%, siendo mayor en los meses de octubre y noviembre.

Métodos

Se prepararon cinco soluciones de NaClO, diluidas en agua destilada a distintas concentraciones en partes por millón (ppm), las cuales fueron: 5, 2, 1, 0,5 y 0,2 mg L⁻¹ y una solución control de agua destilada, se implementó el protocolo de Manrique *et al.* (2011), con ciertas modificaciones. Se utilizaron tres bulbos de cebolla para cada concentración en recipientes desechables; se registró el crecimiento de la longitud de las raíces durante 3 d haciendo mediciones cada 24 h. Al tercer día, se realizaron pruebas para mitosis en los

ápices radiculares, se calculó el índice mitótico general y por fases, y se identificaron las anomalías celulares.

Análisis de microscopía

Se realizaron pruebas para mitosis, cortando los ápices radiculares (3 mm) y se sumergieron en ácido clorhídrico 1 N durante 15 min para romper las paredes celulares. Posteriormente se trasladaron a una placa porta objetos donde fueron teñidos con aceto-orceina 1 N durante 10 min, y se observaron en microscopios ópticos Leica DM500.

Índice mitótico

Este índice permite conocer si existe inhibición en el proceso de división celular, si se obtienen valores inferiores a los de la solución control se puede decir que existe inhibición, caso contrario si se obtienen valores mayores lo cual indicaría que existe un aumento en la división producto de la aplicación de los compuestos o sustancias químicas (Restrepo *et al.*, 2012).

Se utilizaron las siguientes fórmulas: índice mitótico general (IMg) = número de células en división/número de células totales; índice mitótico profase (IMp) = número de células en profase/número de células en división; índice mitótico metafase (IMm) = número de células en metafase/número de células en división; índice mitótico anafase (IMa) = número de células en anafase/número de células en división; índice mitótico telofase (IMt) = número de células en telofase/número de células en división.

Cálculo de índice de anomalías celulares

Se utilizó la fórmula: número de células anómalas/número de células totales. Esto para cada concentración, donde se utilizó la metodología usada (Akinboro *et al.*, 2011).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rangos múltiples mediante el método de diferencia mínima significativa (LSD) utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion versión XVI.I. Para la realización y edición de las gráficas y tablas se utilizó el programa Microsoft Excel 2010.

RESULTADOS

Crecimiento de las raíces

Durante las 72 h que permanecieron los bulbos de cebolla expuestos a las distintas concentraciones de hipoclorito, se observó crecimiento en longitud de las raíces, en las concentraciones de 0,2 y 1 mg L⁻¹ hubo mayor crecimiento (Tab. 1).

Mediante el análisis estadístico se encontró que no existe ($P > 0,05$) una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos lo que podría significar que el hipoclorito no inhibió el proceso de crecimiento de las raíces (Tab. 2).

En la tabla 3 se muestran los resultados para la prueba de rangos múltiples LSD, se encontró que no existe diferencia entre pares de tratamientos.

Pruebas celulares

Índice mitótico

Los índices mitóticos general y por fases se muestran en la tabla 4.

Tabla 3. Prueba de rangos múltiples LSD. Se muestra la diferencia entre rangos y los límites para los intervalos con un nivel de confianza del 95%.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
5 mg L ⁻¹ - 2 mg L ⁻¹	-	0,0876667	1,76401
5 mg L ⁻¹ - 1 mg L ⁻¹	-	-0,487667	1,76401
5 mg L ⁻¹ - 0,5 mg L ⁻¹	-	-0,127667	1,76401
5 mg L ⁻¹ - 0,2 mg L ⁻¹	-	-0,659	1,76401
5 mg L ⁻¹ - Control	-	-0,222333	1,76401
2 mg L ⁻¹ - 1 mg L ⁻¹	-	-0,575333	1,76401
2 mg L ⁻¹ - 0,5 mg L ⁻¹	-	-0,215333	1,76401
2 mg L ⁻¹ - 0,2 mg L ⁻¹	-	-0,746667	1,76401
2 mg L ⁻¹ - Control	-	-0,31	1,76401
1 mg L ⁻¹ - 0,5 mg L ⁻¹	-	0,36	1,76401
1 mg L ⁻¹ - 0,2 mg L ⁻¹	-	-0,171333	1,76401
1 mg L ⁻¹ - Control	-	0,265333	1,76401
0,5 mg L ⁻¹ - 0,2 mg L ⁻¹	-	-0,531333	1,76401
0,5 mg L ⁻¹ - Control	-	-0,0946667	1,76401
0,2 mg L ⁻¹ - Control	-	0,436667	1,76401

* indica una diferencia significativa.

Tabla 1. Crecimiento en longitud de las raíces sometidas a las distintas concentraciones.

Tiempo (horas)	Concentraciones					
	5 mg L ⁻¹	2 mg L ⁻¹	1 mg L ⁻¹	0,5 mg L ⁻¹	0,2 mg L ⁻¹	Control
24:00:00	0,22 cm	0,22 cm	0,6 cm	0,32 cm	0,463 cm	0,477 cm
48:00:00	1,163 cm	1,067 cm	1,583 cm	1,483 cm	1,73 cm	1,32 cm
72:00:00	2,01 cm	1,843 cm	2,673 cm	1,973 cm	3,177 cm	2,263 cm
Desviación estándar	0,895	0,811	1,036	0,849	1,357	0,893

Tabla 2. ANOVA del análisis de varianza de los datos de crecimiento en longitud de las raíces.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	1,24391	5	0,248782	0,25	0,9302
Error	11,7986	12	0,983218		
Total	13,0425	17			

Tabla 4. Índice mitótico general e Índices mitóticos por fases mitóticas para las distintas concentraciones.

Concentraciones	Índice mitótico					Desv. est.
	General	Profase	Metafase	Anafase	Telofase	
5 mg L ⁻¹	0,119	0,383	0,133	0,2	0,283	0,111
2 mg L ⁻¹	0,089	0,238	0,119	0,357	0,286	0,112
1 mg L ⁻¹	0,253	0,484	0,2	0,168	0,147	0,136
0,5 mg L ⁻¹	0,095	0,609	0,087	0,13	0,174	0,220
0,2 mg L ⁻¹	0,077	0,55	0,2	0,175	0,05	0,200
Control	0,155	0,741	0,099	0,099	0,062	0,111

La concentración donde se presentó un mayor índice mitótico general fue 1 mg L^{-1} , seguido por la concentración Control, en tales concentraciones la actividad celular fue mayor. Las demás concentraciones presentaron porcentajes de inhibición significativos (Tab. 5).

Tabla 5. Porcentajes de inhibición de la división celular (mitosis) en los ápices radiculares de cebolla.

Concentraciones	Inhibición
5 mg L^{-1}	23,23%
2 mg L^{-1}	42,58%
1 mg L^{-1}	0%
$0,5 \text{ mg L}^{-1}$	38,70%
$0,2 \text{ mg L}^{-1}$	50,32%
Contraste (Control)	-

Anomalías celulares (cromosómicas)

Se reportan anomalías celulares en todas las concentraciones a excepción del control, las más frecuentes fueron múltiples lesiones nucleares como espacios vacíos dentro de los núcleos y rompimiento de los mismos (Tab. 6). Se puede apreciar que el mayor número de anomalías en las concentraciones más altas (5 y 2 ppm) corresponden a lesiones nucleares y a medida que disminuye la concentración de hipoclorito aparecen otras anomalías como la hiperchromasia.

En la figura 1 se muestran algunas de las células donde se observaron las anomalías encontradas en las distintas concentraciones, se evidenciaron principalmente: anafase con puente entre cromosomas, ausencia de

Tabla 6. Anomalías celulares y número de células anómalas encontradas en las respectivas concentraciones. "C" indica células anómalas

Anomalías celulares	Concentraciones					
	5 mg L^{-1}	2 mg L^{-1}	1 mg L^{-1}	$0,5 \text{ mg L}^{-1}$	$0,2 \text{ mg L}^{-1}$	Control
Anafase con puente entre cromosomas	1C	-	-	-	-	-
Ausencia de núcleo	-	2C	-	-	-	-
Coagulación en metafase	3C	-	-	-	-	-
Hiperchromasia	-	-	4C	2C	7C	-
Lesiones nucleares	29C	5C	2C	1C	2C	-
Rompimiento de cromosomas en anafase	-	1C	-	-	-	-
Rompimiento de cromosomas en metafase	2C	-	-	-	-	-

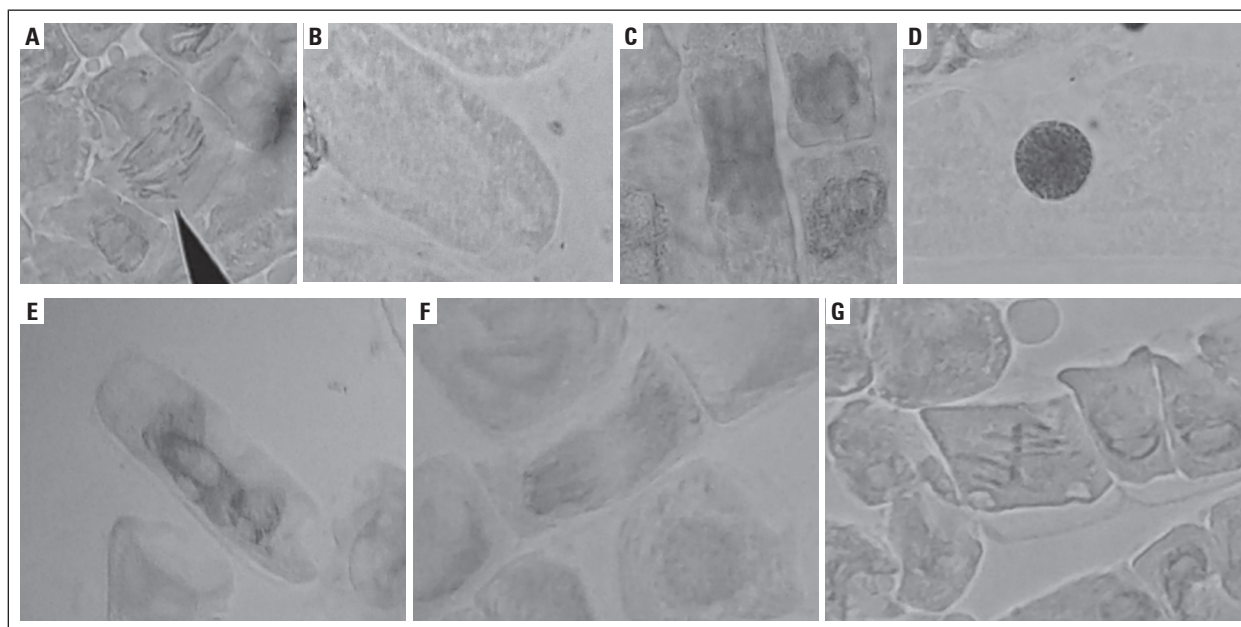


Figura 1. Anomalías celulares encontradas. (A) Anafase con puente entre cromosomas, (B) Ausencia de núcleo, (C) Coagulación en metafase, (D) Hiperchromasia, (E) Lesiones nucleares, (F) Rompimiento de cromosomas en anafase, (G) Rompimiento de cromosomas en metafase.

núcleo, coagulación en metafase, hipercromasia, lesiones nucleares, rompimiento de cromosomas en anafase y metafase, originando micronúcleos.

Índice de anomalías celulares

Se muestran los índices de anomalías celulares de cada concentración, los valores más altos corresponden a las concentraciones de 5 mg L⁻¹ seguido por 0,2 y 1 mg L⁻¹ (Fig. 2).

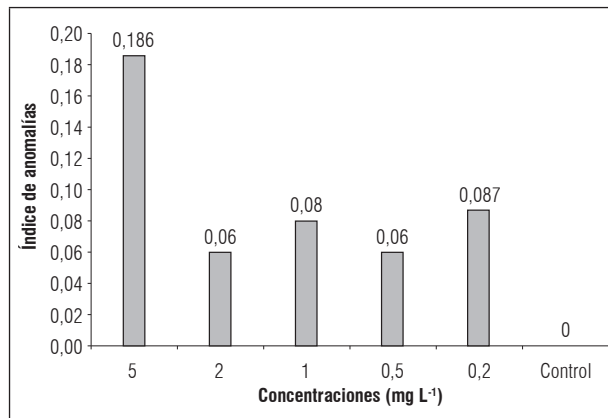


Figura 2. Índice de anomalías para cada concentración (desviación estándar 0,06).

DISCUSIÓN

Crecimiento en longitud de las raíces

Producto de la exposición de las raíces a sustancias químicas, las raíces sufrirán alteraciones de sus características normales, como puede ser su forma, longitud y coloración. El grado de alteración de las raíces dependerá de la naturaleza y toxicidad de las sustancias y el tiempo que estas permanezcan expuestas (Khanna y Sharma, 2013). Además, esta prueba es una importante prueba *in vivo*, donde las raíces crecen en contacto directo con las sustancias de interés que permiten un posible daño al ADN, lo que podría inferir una correlación con la exposición a dichas sustancias por parte de los seres humanos, puesto que los cromosomas de las plantas y los animales son morfológicamente similares, y parecen responder a tratamiento con agentes mutagénicos de forma similar a la de los mamíferos y otros eucariotas (Hemachandra y Pathiratne, 2015; Nefic *et al.*, 2013).

Al someter a hidratación un bulbo de cebolla se produce una estimulación del crecimiento de las células,

lo cual permite la elongación de las raíces de la planta. Sin embargo, cuando la absorción se lleva a cabo en presencia de sustancias orgánicas o inorgánicas tóxicas la división celular de los meristemos radiculares puede inhibirse, ya sea retardando el proceso de mitosis o destruyendo las células. Este tipo de alteraciones generalmente impide el crecimiento normal de la raíz y, por tanto, su elongación (Restrepo *et al.*, 2012). Sin embargo, en el presente estudio, no se reportaron diferencias significativas en el crecimiento.

Una disminución del crecimiento radicular más del 45% indica la presencia de las sustancias en ambientes naturales y demuestra efectos “subletales” sobre las plantas, causando no solo retraso en crecimiento radicular, si no también conllevando a las células a mostrar alteraciones genéticas (Khanna y Sharma, 2013).

Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Manrique *et al.* (2011), quienes reportan que para concentraciones de 5 mg L⁻¹ la inhibición del crecimiento en longitud de las raíces de cebolla tratadas con hipoclorito de sodio comienza a disminuir.

Índice mitótico (IM)

Se encontró que existe inhibición en el proceso de mitosis, ya que se obtuvieron valores en el IM de las concentraciones 5, 2, 0,5 y 0,2 mg L⁻¹ inferiores al grupo control, diferentes estudios evidencian que algunas sustancias de naturaleza química u orgánica causaron disminución mitótica en la división de células meristemáticas de las raíces de cebolla (Berrocal *et al.*, 2013) la disminución de IM sugiere la supresión de la actividad mitótica en cebolla, a causa del hipoclorito de sodio, puesto que IM es una estimación cuantitativa de las actividades mitóticas en un organismo o un órgano en particular (Berrocal *et al.*, 2013). La reducción de IM podría deberse a los elementos que constituyen el hipoclorito de sodio que a su vez tienen efectos citotóxicos sobre *A. cepa* L. Este índice (IM) es una medida aceptable de citotoxicidad en todos los organismos vivos. El nivel de citotoxicidad podría determinarse por la disminución de la tasa de IM. Una disminución de IM por debajo del 22% en comparación con controles negativos podrían tener un impacto letal en el organismo, mientras que una disminución por debajo del 50% suele tener efectos subletales y se denomina valor límite citotóxico (Prajitha y Thoppil., 2016). La disminución del IM explica la citotoxicidad potencial y sugiere un efecto de inhibición, del hipoclorito de sodio sobre las células meristemáticas radiculares de

cebolla lo que podría inducir a una serie de anomalías mitóticas. La reducción de la actividad mitótica podría deberse a la inhibición de la síntesis de ADN o a un bloqueo en la fase G2 del ciclo celular, evitando que la célula entre en su ciclo mitótico (Haq *et al.*, 2017). También puede deberse a una alteración de la síntesis de nucleoproteínas y un nivel reducido de ATP para proporcionar energía para el alargamiento de los microtúbulos que conforman las fibras del huso, lo que posiblemente disminuiría la dinámica y movimiento cromosómico (Haq *et al.*, 2017; Hemanth *et al.*, 2015).

Aunque se obtuvo un dato atípico en la concentración de 1ppm cuyo IM fue superior al de las concentraciones mayores, esto se podría interpretar como el hecho de que una concentración elevada detiene los procesos celulares sin importar la fase en la que se encuentren, lo cual permite observar células en todas las fases del ciclo; por su parte, las concentraciones bajas permiten que continúe el ciclo celular, aparentemente, hasta la interfase, y así se produce un estancamiento en ella (Freyre *et al.*, 2009).

Anomalías celulares

Las aberraciones cromosómicas se caracterizan por cambios bien sea en la estructura o en el número total de cromosomas, que pueden ocurrir tanto espontáneamente como también puede ser el resultado de la exposición a agentes físicos o químicos (Hemachandra y Pathiratne, 2015; Restrepo *et al.*, 2012). En el presente estudio, con mayor frecuencia se encontraron aberraciones cromosómicas en los bulbos de cebolla expuestos a la concentración de 5 mg L⁻¹.

Las anomalías encontradas en este estudio concuerdan con las reportadas por varios autores quienes expusieron bulbos de cebolla a soluciones de diferentes sustancias químicas con potencial citotóxico (Marcano *et al.*, 2001; Marcano *et al.*, 2004; Restrepo *et al.*, 2012; Freyre *et al.*, 2009; Prajitha y Thoppil, 2016); trastornos anormales como rompimiento de cromosomas en metafase y anafase (aberración clastogénica), células binucleadas en interfase, la presencia de células binucleadas ha sido reportada por varios investigadores (Pandey *et al.*, 2014). Las células binucleadas pueden surgir como el resultado de un proceso incompleto de división celular, es decir, cariocinesis con citocinesis incompleta. Estas células también pueden surgir debido a la supresión de la formación de placas celulares durante la telofase temprana, los cromosomas que no se incorporaron al núcleo principal durante el ciclo de división forman estas alteraciones

(Haq *et al.*, 2017). La anafase con puente entre cromosomas, otras de las anomalías encontradas en este estudio; los puentes cromosómicos se producen por la ruptura de los brazos cromosómicos en el momento de división celular (telofase). Durante la mitosis, los dos centrómeros se mueven hacia los polos opuestos y pueden quedar estables formando "puentes" debido a la resistencia física que estos ofrecen (Llontop y Vargas, 2014). Ausencia de núcleo, hiperchromasia, lesiones nucleares y micronúcleos también fueron encontrados en este estudio, los micronúcleos formados han demostrado que los errores en la mitosis generan ruptura del ADN, que subyace a la formación de micronúcleos que contienen cromosomas enteros los cuales experimentan replicación de ADN defectuosa y asincrónica que fragmenta ampliamente el ADN (Kuchy *et al.*, 2016).

Las presencia de anomalías celulares está determinada por el aumento en las concentraciones de agentes mutagénicos. Si se aumentan las concentraciones de estos agentes las mutaciones genéticas crecerán de forma directa y las anomalías lo harán de forma exponencial (Hemachandra y Pathiratne, 2015). Esto indica que entre menores sean las concentraciones en las cuales se encuentren mutaciones genéticas y anomalía celular, mayor será el grado de toxicidad de los compuestos estudiados. La presencia de anomalías en la concentración más baja (0,2 mg L⁻¹) permite clasificar al hipoclorito de sodio como una sustancia altamente tóxica.

Está demostrado que *Allium cepa* expuesto a sustancias tóxicas, específicamente en este estudio, donde se utilizó hipoclorito de sodio, probablemente generó condiciones de estrés genómico que pudieron dar como resultado, roturas cromosómicas, y así generar distintas anomalías. Muchos estudios han indicado que las posiciones de ruptura no parecen ser al azar sino que se producen en una región de heterocromatina y podrían llevar a los cromosomas a una translocación, inversión o eliminación (Berrocal *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

Allium cepa es una especie que ofrece un modelo experimental factible de implementar en el laboratorio para evaluar el efecto citotóxico de cualquier sustancia, en este caso de hipoclorito de sodio.

El hipoclorito de sodio generó anomalías celulares (cromosómicas) en todas las concentraciones de las cuales las más abundantes fueron lesiones nucleares.

El hipoclorito de sodio ocasionó inhibición en la división celular en todas las concentraciones a excepción de la concentración 1 mg L⁻¹ donde se presentó un aumento de la división celular contrastada con la concentración control.

Se pudo clasificar al hipoclorito de sodio como una sustancia altamente citotóxica, ya que generó anomalías celulares en concentraciones inferiores a 5 ppm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akinboro, A., K. Mohammed, S. Rathnasamy y V. Muniandy. 2011. genotoxicity assessment of water samples from the Sungai Dua River in Pulau Pinang, Malaysia, using the *Allium cepa* test. *Trop. Life Sci. Res.* 22(2), 23-35.
- Berrocal, A.M., R.H. Blas., J. Flores y M.A. Siles. 2013. Evaluación del potencial mutagénico de biocidas (vertimec y pentacloro) sobre cebolla. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 15(1), 17-27.
- Freyre, S., M. Estrada y H. Bolaños. 2009. Estudio preliminar de la citotoxicidad y la genotoxicidad de un extracto de origen vegetal conocido como palmo rosado en células meristemáticas de *Allium cepa*. *Memorias* 5(12), 12-17.
- Haq, I., S.Kumar, A.Raj, M.Lohani y G.Satyanarayana. 2017. Genotoxicity assessment of pulp and paper mill effluent before and after bacterial degradation using *Allium cepa* test. *Chemosphere* 169, 642-650. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.101
- Hemachandra, C.K. y A.Pathiratne. 2015. Assessing toxicity of copper, cadmium and chromium levels relevant to discharge limits of industrial effluents into inland surface waters using common onion, *Allium cepa* bioassay. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 94(2), 199-203. Doi: 10.1007/s00128-014-1373-8
- Hemachandra, C.K. y A.Pathiratne. 2016. Combination of physico-chemical analysis, *Allium cepa* test system and *Oreochromis niloticus* erythrocyte based comet assay/nuclear abnormalities tests for cyto-genotoxicity assessments of treated effluents discharged from textile industries. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 131, 54-64. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2016.05.010
- Hemanth, N.K., M. Taj y S. Jagannath. 2015. Clastogenicity of sugar factory effluent using *Allium* assay. *Res. Plant Biol.* 5(6).
- Iannacone, O. y F. Alvarino. 2005. Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. *Agric. Téc.* 65(2), 198-203.
- IDEAM. 2010. Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, Colombia.
- Juárez, R.P. y O.N. Lucas. 2001. Complicaciones ocasionadas por la infiltración accidental con una solución de hipoclorito de sodio. *Rev. Asoc. Dental Mex.* 58(5), 173-176.
- Khanna, N. y S. Sharma. 2013. *Allium cepa* root chromosomal aberration assay: A review. *Indian J. Pharm. Biol.* 1 (3), 105-119.
- Kuchy, A.H., A.A.Wani y A.N. Kamili. 2016. Cytogenetic effects of three commercially formulated pesticides on somatic and germ cells of *Allium cepa*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23(7), 6895-6906. Doi: 10.1007/s11356-015-5912-6
- Llontop, L.G. y Vargas, C.D. 2016. Efecto citoreparador de *Aloe vera* L. "sábila" en tejidos embrionarios de *Allium cepa* L. "cebolla" con daño cromosómico inducido por amoxicilina. *Acc Cietna* 2(2), 1-10.
- Manrique, R.R., M.C.Villamizar y D.R. Quesada. 2011. Pruebas de ecotoxicidad para establecer el potencial genotóxico del hipoclorito de sodio, mediante bulbos de cebolla *Allium cepa* L. y semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. como bioindicadores. *ITECKNE* 8(1), 7-14.
- Marcano, L., I. Carruyo, A. Del Campo y X. Montiel. 2004. Cytotoxicity and mode of action of maleic hydrazide in root tips of *Allium cepa* L. *Environ. Res.* 94(2), 221-226. Doi: 10.1016/S0013-9351(03)00121-X
- Marcano, L., I. Carruyo y X. Montiel. 2001. Alteraciones citológicas inducidas por el cadmio en células meristemáticas de raíces de cebolla (*Allium cepa* L.). *Rev. Fac. Agron.* 18(4), 247-257
- Nefic, H., J. Musanovic, A. Metovic y K. Kurteshi. 2013. Chromosomal and nuclear alterations in root tip cells of *Allium cepa* L. induced by alprazolam. *Med. Arch.* 67(6), 388-392. Doi: 10.5455/medarh.2013.67.388-392
- Pandey, H., V. Kumar y B.K. Roy. 2014. Assessment of genotoxicity of some common food preservatives using *Allium cepa* L. as a test plant. *Toxicol. Rep.* 1, 300-308. Doi: 10.1016/j.toxrep.2014.06.002.
- Pathiratne, A., C.K. Hemachandra y N. De Silva. 2015. Efficacy of *Allium cepa* test system for screening cytotoxicity and genotoxicity of industrial effluents originated from different industrial activities. *Environ. Monit. Assess.* 187(12), 1-12. Doi: /10.1007/s10661-015-4954-z
- Prajitha, V. y J. Thoppil. 2016. Genotoxic and antigenotoxic potential of the aqueous leaf extracts of *Amaranthus spinosus* Linn. using *Allium cepa* assay. *South Afr. J. Bot.* 102, 18-25. Doi: 10.1016/j.sajb.2015.06.018
- Restrepo, R., D. Reyes, M.C. Ortiz, E.A.R. Ruiz y V.V. Kouznetsov. 2012. Aberraciones cromosomales en bulbos de cebolla *Allium cepa* inducidas por moléculas híbridas 4-aminoquinolónicas. *Universitas Scientiarum* 17(3), 253-261. Doi: 10.11144/javeriana.SC17-3.aceb
- Shrivastava, D. 2015. Cytotoxic effects of paper mill effluent on *Allium cepa* L. *Int. J. Multidiscip. Res. Dev.* 2(2), 657-661.