



REPORTES CIENTÍFICOS

D E L A F A C E N

ISSN 2078-399X (impreso)

ISSN 2222-145X (online)

Volumen 10

Número 1

2019

Predicción completa del ciclo solar 24 mediante el método combinado.

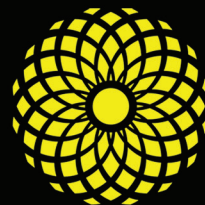
Control de procesos industriales utilizando hardware reconfigurable.

La importancia del control y monitoreo de la calidad del agua del Río Paraguay para el desarrollo y la defensa nacional.

Fitorremediación de cromo en efluente de curtiembre empleando *Eichhornia crassipes*.

Estudio cinético y degradación del triclosán y triclocarbán en suelos agrícolas enmendados con compost. Control de procesos industriales utilizando hardware reconfigurable.

Impacto de la especialización de aprendizajes basado en redes y liderazgo pedagógico sobre el nivel de desempeño de docentes de la educación media.



FACE N

Facultad de Ciencias
Exactas y Naturales

PUBLICACIÓN CIENTÍFICA
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN-PARAGUAY

REPORTES CIENTÍFICO DE LA FACEN



Reportes Científicos de la FACEN, es una revista de acceso libre y gratuito y es la publicación científica oficial de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción. Es emitida semestralmente y publica artículos originales, artículos de revisión, tópicos actuales, reportes de casos, comunicaciones cortas y cartas al editor, en las áreas de Biología, Química, Física, Matemática Pura, Matemática Estadística, Geología, Biotecnología y Tecnología de Producción. Los trabajos y opiniones publicados en la revista son de exclusiva responsabilidad de los autores.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Prof. Lic. Abel Bernal Castillo M.Sc.
Rector

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Prof. Constantino Nicolás Guefos Kapsalis, MAE
Decano

Dirección Web

www.facen.una.py

REPORTES CIENTÍFICOS DE LA FACEN

Dirección postal

Reportes Científicos de la FACEN, Dirección de
Investigación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Campus Universitario, Casilla de Correo 1039, San Lorenzo,
Paraguay

Teléfono/Fax

595 21 585600 interno 237

E-mail

reportescientificos@gmail.com

Dirección web

<http://www.facen.una.py/es/publicaciones-cientificas/>

Editor en Jefe

Lic. Fernando José Méndez Gaona, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad Nacional de Asunción

Comité Editorial Nacional

Dr. Bolívar Rafael Garcete Barrett
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Nacional de Asunción

Lic. Nery López
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Nacional de Asunción

M. Sc. Andrea Weiler de Albertini
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Nacional de Asunción

M. Sc. Fredy Julián Gómez Grance
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Nacional de Asunción

M. Sc. Miguel Ángel Martínez Cabrera
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Nacional de Asunción

M. Sc. Danilo Fernández Ríos
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Nacional de Asunción

Dra. Celeste Vega
Centro para el Desarrollo de Investigación Científica

Dra. Miriam Rolon
Centro para el Desarrollo de Investigación Científica

Dra. Antonieta Rojas de Arias
Organización Panamericana de la Salud - Paraguay

Comité Editorial Internacional

Dr. Robert Owen
Texas Tech University - Estados Unidos

Dra. Ana Honfi
Universidad Nacional de Misiones - Argentina

Dr. Julio Daviña
Universidad Nacional de Misiones - Argentina

Dr. Nicolás Niveiro
Universidad Nacional del Nordeste - Argentina

Dra. María Paula Badenes
Universidad Nacional de La Plata - Argentina

Dr. Anselmo Mc Donald
Universidad de Panamá - Panamá

Dr. José Seguinot
Universidad de Puerto Rico - Puerto Rico

Dr. Ángel Vara Vela
Universidad de São Paulo - Brasil

Dr. Fábio Luis Teixeira Gonçalves
Universidad de São Paulo - Brasil

Dr. Víctor Velázquez
Universidad de São Paulo - Brasil

Dr. Sebastián Simondi
Universidad Nacional de Cuyo - Argentina

Rep. cient. FACEN	San Lorenzo (Paraguay)	Vol. 10, Nº 1	enero-junio de 2019	ISSN 2078-399X (versión impresa) ISSN 2222-145X (versión online)
-------------------	------------------------	------------------	---------------------	---

REPORTES CIENTÍFICOS

DE LA FACEN

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Rep. cient. FACEN	San Lorenzo (Paraguay)	Vol.10, Nº 1	enero-junio de 2019	ISSN 2078-399X (versión impresa) ISSN 2222-145X (versión online)
-------------------	------------------------	--------------	---------------------	---

ARTÍCULOS ORIGINALES

- 3-9 **José María Gómez & Fredy Doncel.** Predicción completa del ciclo solar 24 mediante el método combinado.
- 10-16 **Federico Fernández, Juan Carlos Fabero & Hortensia Mecha López.** Control de procesos industriales utilizando hardware reconfigurable.
- 17-24 **Carlos Cañete.** La importancia del control y monitoreo de la calidad del agua del Río Paraguay para el desarrollo y la defensa nacional.
- 25-36 **Leonida Medina García, Francisco Paulo Ferreira, Hajime Guillermo Kurita Oyama, Sergio Rodríguez Bonet, Edgar Fidel Galeano & Mariza R. Viera.** Fitorremediación de cromo en efluente de curtiembre empleando *Eichhornia crassipes*.
- 37-48 **Julio César Benítez-Villalba, Noemí Dorival-García, Nadia Mabel Villalba-Villalba, Francisco Paulo Ferreira-Benítez, Sergio Rodríguez-Bonet & José Luis Vilchez.** Estudio cinético y degradación del triclosán y triclocarbán en suelos agrícolas enmendados con compost.
- 49-54 **Carlos Gonzalez, Rolando Alvarez & Violeta Rolón.** Impacto de la especialización de aprendizajes basado en redes y liderazgo pedagógico sobre el nivel de desempeño de docentes de la educación media.



Predicción completa del ciclo solar 24 mediante el método combinado

Complete prediction of the solar cycle 24 through the combined method

José María Gómez^{1,2} & Fredy Doncel^{2,3}

¹Observatorio Astronómico Prof. Alexis Troche, Departamento de Investigación y Posgrado DIP, FP-UNA.

²Departamento de Física, FACEN-UNA. Correo electrónico: jhoseghomez@yahoo.es

³Autoridad Reguladora Radiológica y Nuclear, ARRN. Correo electrónico: fredydoncelinvernizzi@gmail.com

Resumen: En este trabajo se estudia la actividad solar mediante el seguimiento de manchas solares. Los registros de observación fueron realizados en el Observatorio Prof. Alexis Troche para el periodo 2007-2010. Uno de los objetivos del presente trabajo fue determinar el factor de escala. Nuestros resultados sugieren que el mínimo de actividad solar se dio en noviembre del 2008. Este mínimo nos permitió estimar el máximo para el ciclo 24. Aplicando el método combinado se pudo predecir la evolución completa del presente ciclo solar.

Palabras claves: Manchas solares, actividad solar, ciclo solar.

Abstract: In this work, solar activity is studied by tracking sunspots. Observation records were made at the astronomical observatory Prof. Alexis Troche for the period 2007-2010. One of the objectives of the present work was to determine the scale factor. Our results suggest that the minimum solar activity occurred in November 2008. This minimum allowed us to estimate the maximum for cycle 24. Applying the combined method, it was possible to predict the complete evolution of the present solar cycle.

Keywords: Sunspots, solar activity, solar cycle.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las manchas solares data desde comienzos del siglo XIX mediante los pioneros trabajos de Rudolf Wolf del observatorio de Zúrich, posteriormente en Locarno (Cugnon, 1997). Wolf propone que el índice relativo de manchas solares viene dado por:

$$R = k(10g + f) \quad (1)$$

donde g es el número de grupos de manchas observados en la fotosfera del sol y f el número de manchas individuales. En la ecuación anterior k es el factor de escala utilizado, este permite comparar con registros propios las observaciones realizadas por el SIDC (*Solar Influences Data Center*) de Bruselas-Bélgica, la AAVSO (American Association of Variable Star Observers) y otros centros similares.

El comportamiento de R en una base de tiempo del orden de años permite mejorar la precisión en la predicción de la mayoría de los índices de actividad solar, por lo tanto, es utilizado en aplicaciones a las relaciones solares-terrestres, así como a las predicciones de la relación frecuencia-ionósfera (Shapley, 1949). La actividad solar se relaciona

con la densidad de iones en la parte superior de la atmósfera, y es por esto que influye en la propagación ondas de radio.

Las predicciones de largo tiempo de la actividad solar son importantes para el planeamiento de las misiones espaciales, dado que la actividad solar determina el perfil de la densidad atmosférica y tiene una importante influencia en la trayectoria de satélites de órbita cercana a la tierra (Hanslmeier *et al.* 1999). Por otra parte, su comportamiento está relacionado con cambios climáticos severos como los eventos registrados en los siglos XVII y XIX con muy bajas temperaturas durante los periodos conocidos como mínimo de Maunder y Dalton, respectivamente.

Recientes investigaciones sobre el campo magnético solar y terrestre sugieren que no hay razones para esperar un comportamiento similar a los mencionados anteriormente (Russell *et al.* 2013).

Diferentes técnicas predictivas de la actividad solar son utilizadas actualmente. Entre algunas que podemos mencionar se encuentran: el método de McNish-Lincoln (M&L), el método estándar (SM

Recibido: 20/12/2018 Aceptado: 28/06/2018



del inglés Standard Method) y el método combinado (CM del inglés Combined Method). Los dos primeros utilizan técnicas estadísticas basándose en ciclos previos al ciclo cuyo comportamiento se pretende predecir. El último método, utiliza datos como el índice geomagnético interplanetario aa_1 relacionado con el viento solar de alta velocidad cuyo comportamiento se encuentra desfasado con relación al ciclo de manchas solares. En general, este presenta un pico que ocurre antes del mínimo del ciclo entrante y permite una adecuada predicción para la amplitud del ciclo solar venidero (Hathaway and Wilson, 2006).

El CM asume que ciclos de la misma amplitud tendrán una forma similar y de esta manera predice el comportamiento del próximo ciclo solar; el CM está completamente descrito en el trabajo de Hansmeier *et al.* (1999). Por otro lado, Fessant *et al.* (1996) han propuesto una técnica que implica la utilización de algoritmos de redes neuronales y han comparado sus cálculos con las predicciones realizadas por el método de M&L obteniendo muy buenos resultados, sobre todo, en la fase ascendente del ciclo. Marra, S. y Morabito, F. (2007) describen una técnica basada en el algoritmo neural de Elman y también han mostrado resultados que mejoran los obtenidos por los métodos antes mencionados.

El CM es utilizado en el presente trabajo para predecir el comportamiento completo del ciclo solar número 24. Esto es debido a que es uno de los tres métodos utilizados por la SIDC y al cual se puede aplicar el filtro de Kalman (KF del inglés Kalman filter) descrito en el trabajo de Podladchikova y Van Der Linden. (2012) que permite mejorar las predicciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha realizado el registro de manchas solares con el telescopio Meade de 20,3 cm de apertura y 2000 mm de distancia focal. Este registro ha sido posible gracias a la proyección de la imagen del sol sobre una pantalla acoplada al mismo. Las imágenes obtenidas fueron registradas en una hoja de papel con un círculo de 15 cm de diámetro impreso en él, donde se dibujaban detalladamente las manchas

observadas. Posteriormente se determina el índice relativo de manchas solares usando la ecuación (1), además se procedió a clasificar las manchas y grupos de manchas, determinando sus respectivas coordenadas heliográficas utilizando para ello una carta solar, así como una plantilla heliográfica. Para determinar el factor de escala k se utilizó la siguiente relación:

$$k = \frac{\sum R_{SIDC}}{\sum R_i}, \quad (2)$$

donde R_{SIDC} es el número relativo de mancha solar diario proveída por el SIDC, y R_i es el número relativo de mancha solar diario calculado de las observaciones con $k=1$. A partir de este cálculo es posible comparar el comportamiento de la actividad solar registrada por la SIDC disponibles en el sitio web: <http://sidc.oma.be/silso> y el registrado en el observatorio astronómico FP-UNA en el periodo 2007-2010. Dado el comportamiento estocástico del índice de manchas solares, se prefirió trabajar con el valor promedio mensual suavizado R_s usando la siguiente ecuación (Cugnon, P., 1997):

$$R_s = \frac{1}{12} \left(\frac{R_{m-6} + R_{m+6}}{2} + \sum_{-5}^{+5} R_{m-i} \right) \quad (3)$$

siendo R_{m-i} el valor promedio mensual observado, i meses antes del mes m en cuestión ($i = 1, 2 \dots 6$).

Con los valores promedios mensuales suavizados fue posible obtener la gráfica del índice mensual de manchas solares en función del tiempo (periodo 2007-2010). Komitov *et al.* (2010) determinaron la fecha del mínimo de actividad solar para noviembre de 2008 mediante el estudio del radio-índice $F10.7$ y el número internacional de manchas solares además de estimar la amplitud del ciclo 24 en 79 ± 15 utilizando la regla de Waldemeier que relaciona el máximo del ciclo entrante y el promedio mensual de crecimiento de la actividad en la fase ascendente. Hathaway y Wilson (2006), encontraron la relación entre el máximo predicho para el ciclo que está por empezar R_{max} y el valor promedio mensual del índice geomagnético interplanetario aa_1 para la fecha del mínimo mediante la ecuación

Tabla 1. Índice geomagnético promedio mensual. Valores de aa_t para finales del 2008 y comienzos del 2019.

Año	Mes	aa_t
2008	9	11
	10	13,2
	11	9,5
	12	10,1
2009	1	10,3

$$R_{max} = 4,6 + 11,30Max_{aa_t} \pm 13,9 \quad (4)$$

En la Tabla 1 se presentan los valores de aa_t para finales del 2008. Se seleccionan los ciclos previos al 24 que tengan una amplitud de $R_{max} = 111,95 \pm 33,9$ de forma a contar con los ciclos anteriores con una amplitud entre los límites superior e inferior de este rango, siendo estos los ciclos 5, 6, 7, 12, 14 y 16 (Figura 1).

Fessant *et al.* (1996) han demostrado que se obtienen mejores resultados si se divide los ciclos en dos partes, y lo han aplicado para el método de redes neuronales. Siguiendo esa propuesta, pero en este caso para el CM, se ha dividido los ciclos en dos fases: una ascendente y otra descendente. Al existir una variación en la duración de los ciclos como se indica en la Tabla 2, un valor promedio ha sido utilizado y en casos de ciclos de menor duración que el promedio, se ha extrapolado los índices mediante la siguiente relación:

$$\hat{R}_i = \Phi_{i,i-1} \hat{R}_{i-1}, \quad (5)$$

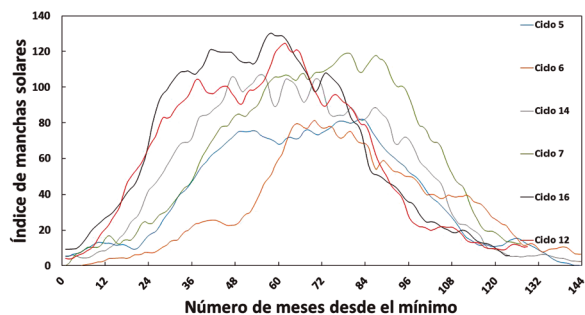
donde \hat{R}_i es el número de mancha solar suavizado extrapolado para el mes i en base a los valores originales del ciclo en cuestión, \hat{R}_{i-1} es el número de mancha solar suavizado para el mes $i-1$ en base a los valores originales del mismo ciclo y $\Phi_{i,i-1}$ es la función de transición entre los meses i e $i-1$.

Este procedimiento es utilizado en la fase de extrapolación de la actividad solar en la aplicación del KF a cualquiera de los tres métodos anteriormente mencionados. Este proceso de filtrado se encuentra explicado detalladamente en Podladchicova *et al.* (2012) y se describe brevemente más adelante. Posteriormente en el CM se determina el promedio ponderado entre los ciclos en cuestión adjudicando diferentes pesos a cada uno de ellos.

A cada ciclo le corresponde un peso dado por:

Tabla 2. Detalles de los ciclos solares utilizados. * = Número de mancha solar (del inglés, SN = Sunspot Number).

Ciclo solar número	Inicio y Finalización	Subida al máximo(años)	Caída al mínimo(años)	Duración total(años)	Amplitud(SN*)
5	1798,3–1810,5	6,9	5,4	12,3	82
6	1810,6–1823,2	5,8	6,9	12,7	81,2
7	1823,3–1829,9	6,6	4	10,6	119,2
12	1878,9–1889,5	5	5,7	10,7	124,4
14	1901,7–1913,5	5,3	6,6	11,9	107,1
16	1923,6–1933,7	4,8	5,4	10,2	130,2

**Figura 1.** Se muestra los ciclos 5, 6, 7, 12, 14 y 16, el ciclo 16 el de mayor amplitud, similar al ciclo 12, ambas con curvas bien diferenciadas de los demás, tanto en la parte ascendente como descendente.

$$w = e^{-\frac{(R_{max} - Y_{Max})^2}{300}} \quad (6), \text{ donde:}$$

R_{max} es el máximo predicho por la ecuación (4), siendo Y_{max} el máximo del ciclo en cuestión.

Se procedió a determinar la suma entre los valores mensuales ponderados de los índices de manchas solares de los ciclos mencionados que se correspondan entre sí teniendo en cuenta en el número de meses desde el inicio del ciclo. De esta forma la suma de los valores promedios ponderados permite estimar la forma completa del ciclo venidero, en este caso la del ciclo solar N° 24.

Una vez obtenida la predicción completa del ciclo es posible aplicar el KF antes mencionado. Este método utiliza el siguiente algoritmo:

Extrapolación:

$$\hat{R}_{j,j-1} = \Phi_{j,j-1} \hat{R}_{j-1,j-1} \quad (7)$$

$$\sigma_{j,j-1}^2 = \Phi_{j,j-1}^2 \cdot \sigma_{j-1,j-1}^2 + \sigma_{w,j}^2 \quad (8)$$

Donde:

$\hat{R}_{j,j-1}$ es el índice de manchas solares mensual suavizado extrapolado para el mes j .

$\hat{R}_{j-1,j-1}$ es índice de manchas solares mensual suavizado extrapolado para el mes $j-1$.

Aquí se utiliza el valor promedio suavizado del mes anterior que ha resultado de la aplicación del CM como punto de inicio.

$\sigma_{j,j-1}^2$ es el error de varianza para la extrapolación del mes $j-1$ al j .

$\sigma_{j-1,j-1}^2$ es el error de varianza para la extrapolación del mes $j-1$.

$\sigma_{w,j}^2$ es el error de varianza de proceso.

Filtrado:

$$\hat{R}_{j,j} = \hat{R}_{j,j-1} + K_j \cdot (R_j^m - \hat{R}_{j,j-1}) \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (9)$$

$$\sigma_{j,j}^2 = (1 - K_j) \cdot \sigma_{j,j-1}^2 \quad (10)$$

Siendo R_j^m ($j=1,2,3,4,5,6$) las últimas seis observaciones disponibles del promedio mensual del número de manchas solares.

Siendo K_j la ganancia de filtrado:

$$K_j = \frac{\sigma_{j,j-1}^2}{\sigma_{j,j-1}^2 + \sigma_{v,j}^2} \quad (11)$$

Para un error de varianza de la medida $\sigma_{v,j}^2$.

El procedimiento contempla la aplicación de un segundo filtro llamado de suavizado exponencial (ES del inglés Exponential Smoothing) de forma a reducir la componente estocástica introducida por la utilización de los últimos promedios mensuales de manchas solares en el proceso de filtrado. La relación utilizada es:

$$\hat{X}_j^k = 0,6 * \hat{X}_j^{k-1} + 0,4 * X_j^k \quad (k = 22, 23, \dots), \quad (12)$$

donde \hat{X}_j^k es el valor predicho tras la aplicación del ES para el mes k después del inicio del ciclo, \hat{X}_j^{k-1} promedio mensual suavizados para el mes $k-1$, y X_j^k predicción del KF para el mes k .

Las constantes de la ecuación (12) son elegidas con el peso exponencial $\alpha = 0,4$ ($0 < \alpha < 1$) de forma a tener una mejor respuesta para condiciones estándares del comportamiento de la actividad solar, pero con una menor calidad de filtrado para fluctuaciones aleatorias. El valor mensual suavizado del índice de manchas solares para octubre de 2008 fue utilizado como punto de inicio de la extrapolación para la fase ascendente del ciclo, para la fase descendente

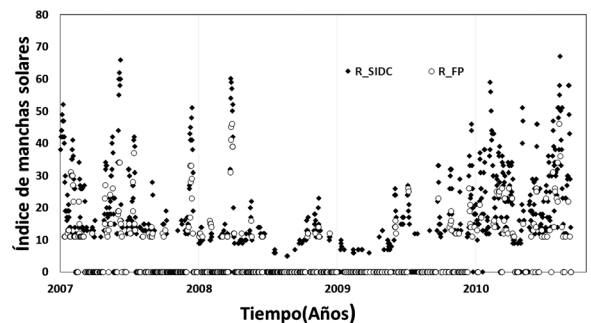


Figura 2. Se puede apreciar el comportamiento diario del índice relativo de manchas solares correspondientes al observatorio FP-UNA calculadas por (1), usando $k=1$, comparadas con el índice relativo de manchas solares diario de la SISLO-SIDC. Se observa una buena correspondencia entre ambos conjuntos de datos.

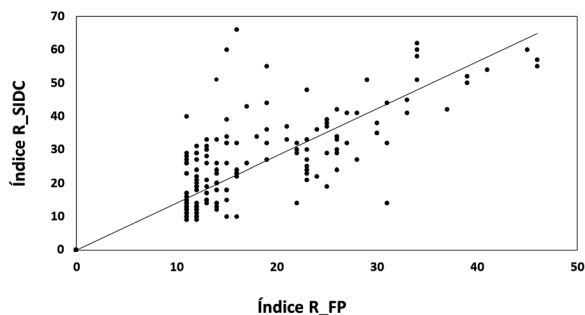


Figura 3. Gráfica de dispersión para el cálculo del factor de escala que se determinó en $k = 1,46$.

fue utilizado el valor correspondiente al mes de junio del 2014.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores promedio mensual del índice de manchas solares (Figura 2) para el filtrado corresponden a los primeros seis meses, tanto en la parte ascendente como descendente del ciclo, en particular los meses de diciembre de 2008 a mayo de 2009 en el primer caso y de junio a noviembre de 2014 en el segundo, de esta forma la extrapolación (Figura 3) se realiza para 62 meses en adelante para la fase ascendente y de 75 meses en la fase descendente.

Utilizando los valores promedios suavizados fue posible observar el mínimo entre los ciclos 23-24 para noviembre del 2008 (Figura 4) en concordancia con el estudio de Komitov, B. *et al.* (2010) mediante el estudio del radio-índice F10.7 y del número internacional de manchas solares (Figura 5).

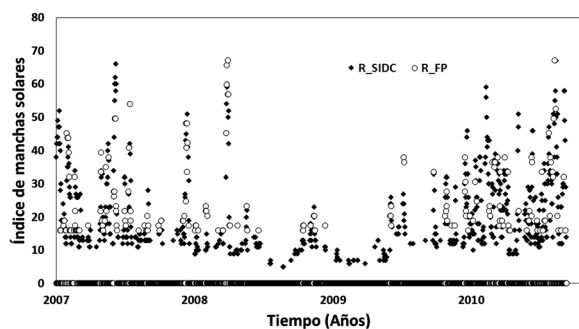


Figura 4. Ajuste de cálculos, notándose una mayor concordancia entre los números de manchas solares para valores más altos, observándose también un mínimo alrededor de noviembre del 2008.

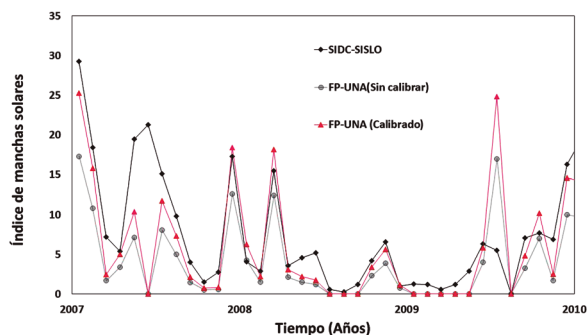


Figura 5. Comportamiento de los valores mensuales promediados del índice de mancha solar comparados con los valores mensuales promediados del SISLO-SIDC, puede notarse una buena correspondencia entre ambas tendencias.

La correspondencia entre ambas curvas es buena sobre todo en la parte ascendente como se observa en la Figura 6. La amplitud predicha para el ciclo 24 es de $111,95 \pm 13,9$ muestran un valor superior al calculado por Podladchicova y Van Der Linden. (2011) de 72 como límite máximo utilizando la relación entre la variabilidad de la velocidad de disminución de la actividad en la fase descendente con el máximo de actividad del próximo ciclo, sin embargo, se muestra más próximo a los $90,7 \pm 9,2$ calculado por Hamil y Galal. (2006) mediante el estudio de los días sin manchas cerca del mínimo y aún más cerca de los 116,4 observado según los registros de la World Data Centre (WDC) del Bureau of Meteorology of the Australian Government, Space Weather Services (SWS).

El ciclo solar 24 está próximo a finalizar (Figura 7). Rigozo *et al.* (2011) estimaron la duración del ciclo en 11,1 años basándose en la extrapolación de las

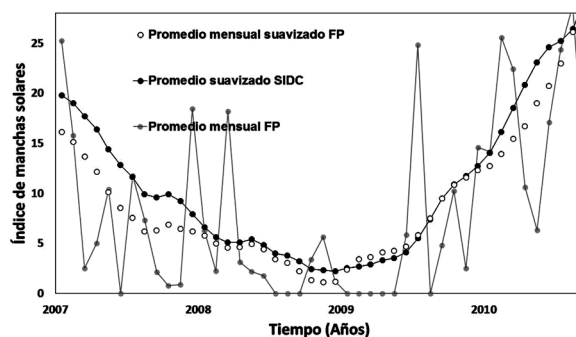


Figura 6. Correspondencia entre curvas.

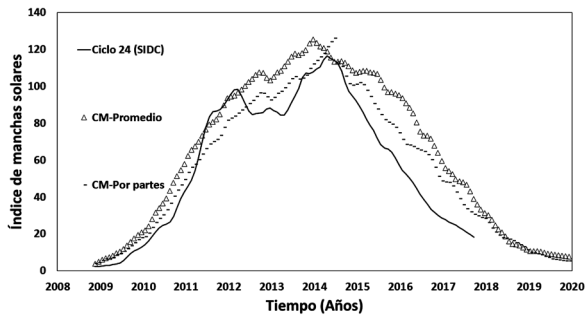


Figura 7. La predicción completa para el ciclo 24 mediante el CM, se puede apreciar como la correspondencia entre el ciclo observado y el predicho fue mejorando mediante la aplicación de la división del ciclo en dos partes, disminuyendo el desfase muy notorio observado mediante la aplicación directa del CM.

componentes espectrales de los índices de manchas solares, el ciclo finalizaría en ese caso en diciembre de 2019. Se podría además tomar en cuenta los resultados de Richards M.T. y Rogers M.L. (2009) que sugieren un incremento en la duración de los ciclos durante las próximas décadas. El promedio de duración de $11,4 \pm 1,0$ años fue utilizado como valor de referencia en el presente trabajo, se realizaron las predicciones hasta abril de 2020. En la Figura 8 se presentan la gráfica correspondiente.

CONCLUSIONES

Se ha observado una buena relación entre la actividad solar registrada en el observatorio FP-UNA en el periodo 2007-2008 en comparación a los registros de la SISLO-SIDC. El mínimo de actividad solar

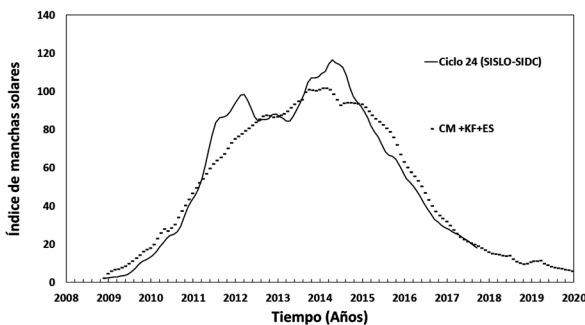


Figura 8. Se observa una mayor dispersión en los picos y una buena correspondencia en la parte monótona de la curva, tanto en la parte ascendente como la descendente luego de la aplicación de los dos filtros KF y ES.

entre los ciclos 23-24 fue calculado en noviembre de 2008. La predicción completa del ciclo 24 mediante la utilización del CM muestra un buen comportamiento en comparación al actual desarrollo de ciclo en cuestión sobre todo después de la aplicación de la división de los ciclos respectivos en dos fases y la posterior aplicación del KF y el ES, aún para una predicción en adelante de varias decenas de meses. Las predicciones decrecen en calidad a mediados de 2012 y fines de 2014 donde se ha observado dos picos de actividad muy pronunciados, esto es consecuente con las características del filtro aplicado.

AGRADECIMIENTOS

A la Solar Influences Date Center (SIDC) dependiente del Royal Observatory of Belgium de donde hemos obtenido los números de manchas solares tanto diarios como mensuales del apartado: Sunspot Index and Long-term Solar Observations (SILSO) data/image, Royal Observatory of Belgium, Brussels. A la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) del Departamento de Comercio de los EE. UU, de donde hemos obtenido datos del índice geomagnético aa_{yy} . A la World Data Centre (WDC) del Bureau of Meteorology of the Australian Government, Space Weather Services (SWS) cuyos datos sobre la amplitud de los ciclos de manchas solares disponibles en: <http://www.sws.bom.gov.au> lo hemos utilizado en la Tabla 2.

BIBLIOGRAFÍA

- Cugnon, P. (1997). Le sunspot Index Data Center World Data Center C1 for Sunspot Index. *Ciel et Terre*, 113(2): 67-71.
- Fessant, F., Pierret C., & Lantos, P. (1996). Comparison of neural network and Mac Nish and Lincoln methods for the predictions of smoothed sunspot index. *Solar Physics*, 168(2): 423-433.
- Hamid, R.H., & Galal, A.A. (2006). Preliminary Prediction of the Strength of the 24th 11-Year Solar Cycle. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 2(S233): 413-416.

- Hanslmeier, A., Denkmayr, K. & Weiss, P. (1998). Long-term prediction of solar activity using the combine method. *Solar Physics*, 184: 213-218.
- Hathaway, D.H. & Wilson, R.M. (2006). Geomagnetic activity indicates a large amplitude for sunspot cycle amplitude. *Geophysical Research Letters*, 33(L18101): 1-3.
- Komitov, B., Duchlev, P., Stoychev, K., Dechev, M. & Koleva, K. (2010). Sunspot minimum epoch between solar cycles No 23 and 24, prediction of solar cycle No 24 magnitude on the base of "Waldemeier's rule". *ArXiv*, 5pp.
- Marra, S. & Morabito, F. (2007). A new technique for solar activity forecasting using recurrent Elman Networks. *International Journal of Physics and Mathematical Sciences*, 1(7): 330-335.
- Russel, C.T., Jian, L.K. & Luhmann, J.G. (2013). How unprecedented a solar minimum was it? *Journal of Advanced Research*, 4(3): 253-258.
- Podladchikova, T. & Van der Linden, R. (2012). A Kalman filter technique for improving medium term predictions of the sunspot number. *Solar Physics*, 277(2): 397-416.
- Podladchikova, T. & Van der Linden, R. (2011). An upper limit prediction of the peak sunspot number for solar cycle 24. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 1(1)A01: 1-3.
- Richards, M.T. & Rogers, M.L. (2009). Long-term variability in the length of the solar cycle. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 121(881): 797-809.
- Rigozo, N.R., Souza Echer, M.P., H.Evangelista, Nordemann, D.J.R. & Echer, E. (2011). Prediction of sunspot number amplitude and solar cycle length for cycles 24 and 25. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 7(11-12): 1294-1299.
- Shapley, A.H. (1949). Reduction of sunspot-number observations. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 61(358): 13.

Control de procesos industriales utilizando hardware reconfigurable

Control of industrial processes using reconfigurable hardware

Federico Fernández¹, Juan Carlos Fabero^{2,3} & Hortensia Mecha López^{2,4}

¹Departamento de Investigación y Postgrado, Facultad Politécnica U. N. San Lorenzo, Paraguay. Email: fefernandez@pol.una.py

²Facultad de Informática, Universidad Complutense de Madrid, España. Email: ³jcfabero@ucm.es; ⁴horten@ucm.es

Resumen: La realización de proyectos de automatización de procesos industriales es, desde el punto de vista del hardware y software, cada vez más complejo y sofisticado, dado que su implementación exige capacidad de cálculo; presentación gráfica; protocolos de comunicación, tanto con el exterior, con el punto donde se encuentra el proceso controlado, entre los distintos módulos componentes del sistema de control distribuido encargado de monitorizar las señales procedentes de los sensores, y modificar las variables del proceso controlado mediante actuadores. En este trabajo presentamos un sistema de control automático de procesos en tiempo real, aplicando hardware reconfigurable. Esta tecnología se presenta como una alternativa a los controladores lógicos programables (PLC), utilizados tradicionalmente en la industria, debido a su costo cada vez menor, capacidad de procesamiento paralelo, que permite mayor velocidad de proceso, capacidad de comunicación y presentación gráfica. Pero por sobre todo, el aspecto que hace diferente a las FPGAs con respecto a otras tecnologías es la capacidad de reconfiguración dinámica, ventaja que le permite que en caso de avería del controlador se pueda reconfigurar para impedir la parada del proceso controlado, factor muy importante para evitar daños y pérdidas económicas.

Palabras clave: FPGA, PLC, reconfiguración parcial, tiempo real.

Abstract: Performing projects for automation of industrial process is, in terms of software and hardware, increasingly complex and sophisticated, as their implementation requires calculation capacity; graphic presentation; communication protocols, both with the outside, with the point where the controlled process is located, between the different component modules of the distributed control system in charge of monitoring the signals coming from the sensors, and modifying the variables of the controlled process by means of actuators. In this paper we present an automatic process control system in real time, applying reconfigurable hardware. This technology is presented as an alternative to programmable logic controllers (PLCs), traditionally used in the industry, due to its increasingly low cost, parallel processing capacity, which allows greater process speed, communication capacity and graphic presentation. But above all, the aspect that makes FPGAs different from other technologies is the dynamic reconfiguration capability, an advantage that allows it to be reconfigured in case of a failure of the controller, in order to prevent a controlled process to be stopped, a very important factor to avoid damages and economic losses.

Palabras clave: FPGA, PLC, partial reconfiguration, real time.

INTRODUCCIÓN

Los controladores lógicos programables han sido por años la base de los sistemas automáticos de control de procesos industriales (Berrojo *et al.*, 2002). Entre sus ventajas están factores como su bajo costo, confiabilidad, facilidad en el manejo y la fiabilidad que concede el haber sido probado con años de éxito en su operación. Se adapta tanto a entradas y salidas digitales como analógicas. Si se elige la configuración modular puede adaptarse a situaciones en la que la arquitectura del proceso de control debe sufrir modificaciones debido al

aumento en el número de entradas y salidas que el sistema de lazo cerrado debe procesar. Otro aspecto a tener en cuenta es el hecho que en las redes de PLC (Mecafenix, 2019) tienen sus propios protocolos de comunicación, (Fielbus, Profibus), que les da la posibilidad de formar redes dedicadas para la supervisión y control de procesos industriales.

En cuanto a las formas de programación tres son los más utilizados El diagrama LADDER o escalera (Milik, 2014) fue uno de los primeros en ser utilizados, ya que se asemeja mucho a los diagramas con relevadores. Los diagramas de bloques

Recibido: 28/02/2019 Aceptado: 13/06/2019



son diagramas en su mayoría son preferidos por personas acostumbradas a trabajar con circuitos de compuertas lógicas. Finalmente el lenguaje de comandos que se compone de una serie de instrucciones que se pueden ejecutar, como sucede con los lenguajes superiores, de forma condicionada. El problema con estos dos últimos lenguajes de programación es que la sintaxis y los nemónicos son propios de cada fabricante de las PLCs por lo que se presentan problemas de migración de un fabricante a otro. De la misma manera el Diagrama Ladder es un lenguaje más intuitivo pero también presenta problemas de migración entre un fabricante y otro.

Un aspecto a tener en cuenta en todo lo referente a supervisión de procesos industriales son los Sistemas SCADA, (Supervisory Control And Data Acquisition), que fusiona lo mejor de la tecnología de control de procesos industriales, la capacidad de proceso, comunicación, almacenamiento de datos y manejo de gráficos que tienen los computadores personales con la facilidad de realizar operaciones de monitoreo y control de manera virtual e independiente de las distancias (Subbaraman *et al.*, 2010; Radulovic *et al.*, 2012).

El crecimiento experimentado en la oferta de sistemas automáticos de control hace que sean numerosos los fabricantes que se disputan un hueco en este mercado lo que hace que estos productos se encuentren continuamente evolucionando dando como resultado productos de mejores rendimientos y menor precio.

Sin embargo debido a la complejidad cada vez mayor de los procesos industriales han empezado a aparecer factores a tener en cuenta como la velocidad de operación, consumo de potencia, flexibilidad y necesidad de contar con un hardware que pueda tener robustez a la hora de la presencia de fallas en su funcionamiento.

La aparición de la tecnología basada en el hardware reconfigurable ha significado un gran salto en el diseño de dispositivos digitales, en la capacidad de reducir los tiempos de desarrollo de diseños nuevos, otorgando menor tiempo al periodo de chequeo de errores y por ende la posibilidad de ir optimi-

zando la configuración del diseño, ventajas estas que permiten que en la actualidad sean numerosas las líneas de investigación relacionadas al diseño digital utilizando dispositivos reconfigurables.

Otro aspecto a considerar es que un diseño basado en FPGA puede adaptarse a un sistema supervisor de control de procesos (Patel *et al.*, 2015), ya que indistintamente puede cumplir la función de maestro o esclavo por la versatilidad que tiene a la hora de ser diseñado para una función específica.

A diferencia de un PLC las FPGAs (Economakos & Economakos, 2019; Yoo *et al.*, 2013) tienen las siguientes ventajas tales como menor ciclo de desarrollo debido a las herramientas de simulación que tienen los entornos de desarrollo como así también poder realizar pruebas con los diseños parciales con diferentes configuraciones haciendo que el tiempo de desarrollo del producto final disminuya.

También se debe considerar la flexibilidad ya que los diseños pueden ser adaptados a los cambios en las necesidades del proceso como ser mayor número de sensores y actuadores, aumento de terminales de esclavos, agregar funciones o instrucciones en los diseños existentes, simplemente cambiando el lenguaje HDL y configurando la FPGA para el nuevo diseño. Esto es lo mismo que desarrolla una arquitectura modular en un sistema basado en PLCs (Gawali & Sharma, 2009; Chmiel *et al.*, 2016). Uno de los aspectos en la que se diferencia las FPGAs de otras tecnologías es la posibilidad de ejecutar en paralelo bloques de diseño hardware lo que proporciona un mejor rendimiento y precisión en comparación con los PLC convencionales (Economakos *et al.*, 2014). Esta característica permite que un diseño complejo se pueda dividir en diferentes tareas que se ejecutan en paralelo lo que hace que el diseño final se ejecute a mayor velocidad que un PLC convencional, ya que este último realiza todas las operaciones secuencialmente. Además de estas características lo que hace verdaderamente ventajoso a las FPGA es la capacidad de reconfiguración dinámica (Fernández & Fabero, 2014) lo que le permite cambiar su configuración sin tener que detener su funcionamiento siendo este un factor importante

en cualquier proceso de control automatizado.

Cuando se produce un error en su funcionamiento que puede afectar no sólo a la parte funcional del sistema sino también, y de manera muy importante, a la propia memoria de configuración que define su funcionalidad se hace necesaria aplicar técnicas de tolerancia a fallos que permiten que el proceso controlado no se vea afectado en su funcionamiento normal impidiendo la parada del proceso controlado con el consiguiente efecto en que esto implica. Así, cuando se detecte discrepancia entre los resultados obtenidos por alguna de las réplicas funcionales del módulo puede reconfigurarse dinámicamente la réplica afectada y continuar con la ejecución de la tarea.

A continuación se describe la estructura del trabajo. La sección II describe la arquitectura del sistema, las variables que se van a medir, el control de las señales, medio de comunicación, etc. En la sección III se describe el diseño del controlador tanto para el PLC como para la FPGA. En la sección IV se describen los resultados obtenidos para finalmente cerrar al trabajo con las conclusiones,

Arquitectura del Sistema

La arquitectura del sistema es el control del proceso de dos tanques, Figura 1, en la que uno de ellos es alimentado por dos fuentes de dos composiciones diferentes cuyo nivel es controlado por dos sensores todo nada. Los alimentadores (Q0.0 y Q0.1) empiezan a cargar el primer tanque cuando se activa el interruptor I0.0. Cuando se activa el sensor de nivel inferior I0.1 empieza a funcionar un mezclador cuya función es homogeneizar la combinación de ambas composiciones.

Una vez que el nivel del primer tanque alcanza

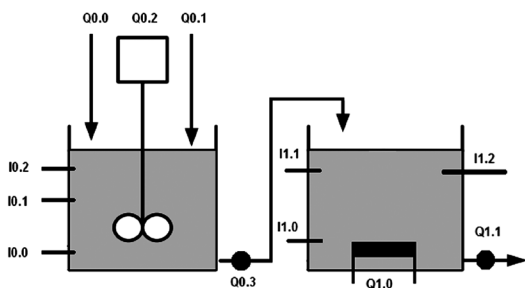


Figura 1. Proceso a controlar.

el sensor de nivel superior I0.2 se interrumpen los alimentadores Q0.0 y Q0.1 a la vez que se activa la bomba Q0.3 que conduce el producto inicial del primer tanque al segundo para la segunda etapa del proceso. En funcionamiento continuo cada vez que el nivel de primer tanque alcanza I0.2 se cerraran Q0.0 y Q0.1 abriéndose nuevamente al bajar el nivel por debajo se I0.2. repitiéndose continuamente este ciclo.

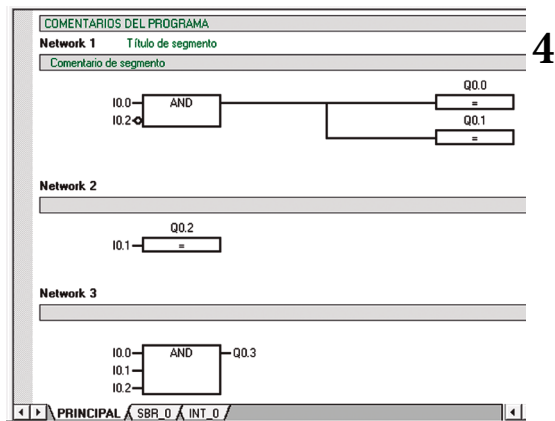
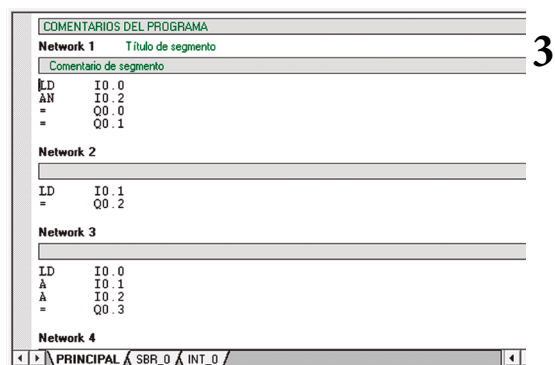
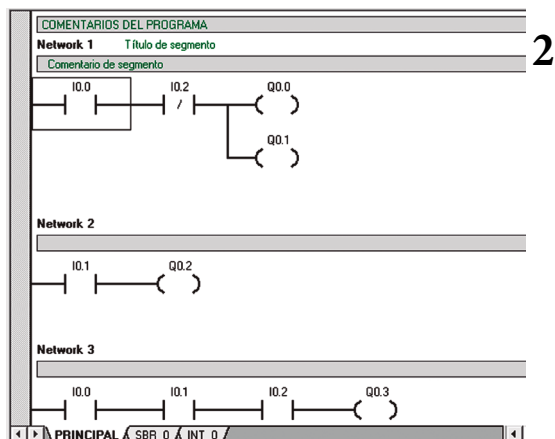
En el segundo tanque el producto procedente del primer tanque se lo debe elevar a una temperatura determinada antes de enviarlo a una etapa posterior del proceso para lo cual se utiliza un control todo nada cuyo sensor es un par bimetálico y el actuador es una resistencia industrial que suministra el calor necesario para la temperatura de referencia. Una vez estabilizada la temperatura se lo envía a una etapa posterior dentro del proceso.

Al elevarse el nivel en el segundo tanque y activar el sensor I1.0 se pone en funcionamiento el calentador Q1.0. Una vez que el nivel alcanza el interruptor I1.1 se activa la bomba Q1.1 que lleva el producto a una temperatura dada a una etapa posterior del proceso. La temperatura del segundo tanque es monitorizada por el sensor I1.2. Cuando este alcanza la temperatura de referencia se desactiva Q1.0 activándose nuevamente una vez que la temperatura del tanque cae por debajo de la temperatura de referencia repitiéndose el ciclo continuamente...

Como el objetivo de este trabajo es demostrar que se puede utilizar FPGAs para realizar operaciones de monitoreo y control industrial similares a los PLCs diseñaremos un sistema de control automático basado en el PLC S7- 200 con el entorno de desarrollo V3.2 STEP7 MicroWIN SP4 de Siemens, y posteriormente el mismo sistema de control utilizando el Nexys 4 (Diligent, 2016) con el entorno de desarrollo Vivado de Xilinx (Xilinx, 2015).

DISEÑO DEL CONTROLADOR

Primeramente desarrollamos el control utilizando el PLC S7 -200. En la Figura 2 se ve el diseño en escalera. Se muestra el esquema correspondiente



Figuras 2-4. Esquemas del controlador. 2) Esquema en escalera del controlador. 3) Esquema en lenguaje de comandos del controlador. 4) Esquema en lenguaje de compuertas del controlador.

al control de primer tanque.

En la figura 3 vemos la misma funcionalidad pero en lenguaje de comandos. En la Figura 4 vemos el controlador pero en esquema de lenguaje de compuertas.

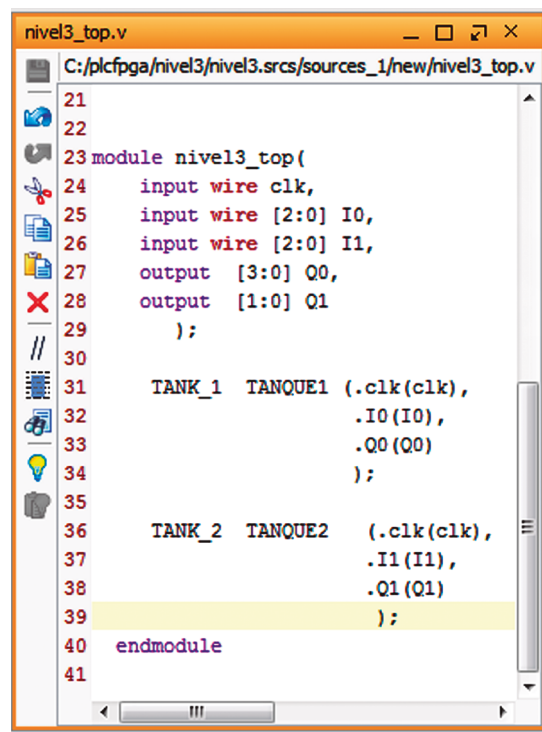


Figura 5. Programa estructurado en Verilog.

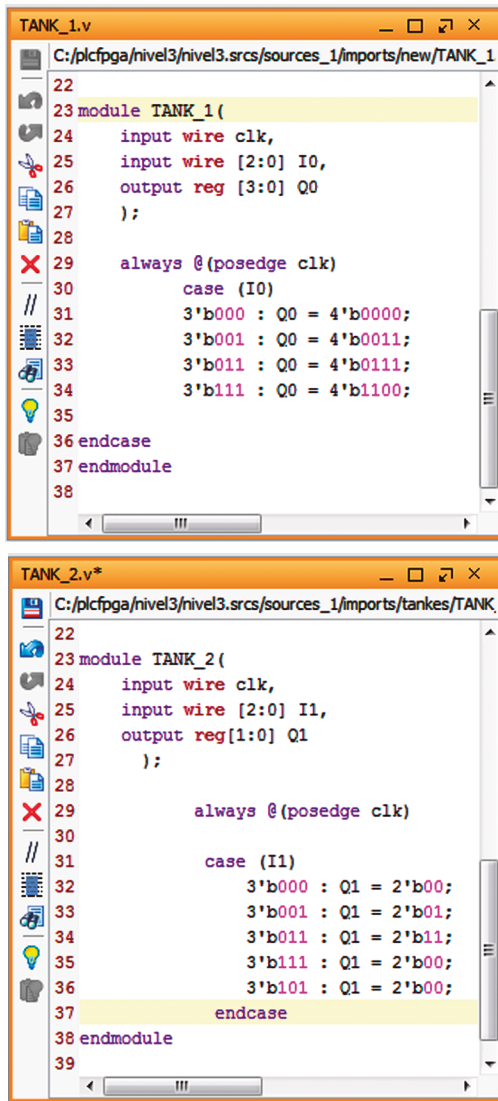
En todos los casos la respuesta del PLC ha sido satisfactoria. Siguiendo con el objetivo de nuestro trabajo hemos hecho la misma funcionalidad pero utilizando una placa basada en Artix 7 de Xilinx.

Para la programación de nuestro controlador de procesos utilizamos el lenguaje Verilog con el entorno de desarrollo Vivado de Xilinx. En la Figura 5 vemos la sintaxis del programa de control utilizado un esquema de programación estructurada en donde cada tanque es controlado por un módulo independiente y ambos módulos son coordinados por un gestor principal.

En la Figura 6 se puede observar el código para el control del primer tanque.

En la Figura 7 vemos el código para el segundo tanque. En ambos casos se han mantenido los nombres de las variables para una mejor comparación entre ambos controladores.

Finalmente se debe destacar que el entorno Vivado también tiene una funcionalidad que permite generar un esquema de diagramas esquemáticos que se puede utilizar como fuente de programación en



```

TANK_1.v
C:/plcfpga/nivel3/nivel3.srcs/sources_1/imports/new/TANK_1
22
23 module TANK_1(
24     input wire clk,
25     input wire [2:0] I0,
26     output reg [3:0] Q0
27 );
28
29 always @(posedge clk)
30     case (I0)
31         3'b000 : Q0 = 4'b0000;
32         3'b001 : Q0 = 4'b0011;
33         3'b011 : Q0 = 4'b0111;
34         3'b111 : Q0 = 4'b1100;
35
36     endcase
37 endmodule
38

TANK_2.v*
C:/plcfpga/nivel3/nivel3.srcs/sources_1/imports/tankes/TANK
22
23 module TANK_2(
24     input wire clk,
25     input wire [2:0] I1,
26     output reg [1:0] Q1
27 );
28
29 always @(posedge clk)
30
31     case (I1)
32         3'b000 : Q1 = 2'b00;
33         3'b001 : Q1 = 2'b01;
34         3'b011 : Q1 = 2'b11;
35         3'b111 : Q1 = 2'b00;
36         3'b101 : Q1 = 2'b00;
37     endcase
38 endmodule
39
  
```

Figura 6. Códigos para controlar los tanques. 6) Para el primer tanque. 7) Para el segundo tanque.

los sistemas automáticos de control de procesos, Figura 8.

A diferencia de otras tecnologías utilizadas en el control de procesos industriales como los PLCs o más recientemente sistemas basados en Arduino o Raspberry Pi, las FPGA pueden ser reconfigurada sin necesidad de interrumpir su funcionamiento.

Por ello su aplicación puede recuperar si un modulo de

sufre una falla puedes ser reconfigurada para reemplazar el modulo que no funciona. De allí a el

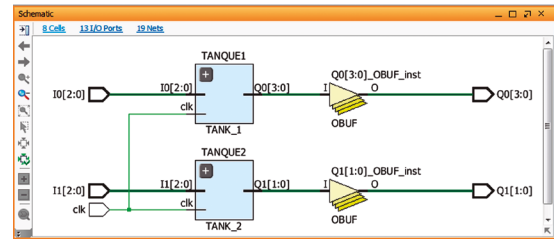


Figura 8. Esquema del controlador.

mismo puede ser el reemplazo de un controlador maestro en un sistema distribuido o un nodo de medida y control que funciona como esclavo De allí se observa nuestro esquema de control supervisado que puede funcionar de manera ininterrumpida.

RESULTADOS

Hemos probado primeramente los códigos con el PLC S7- 200 de Siemens. Las entradas y salidas hemos simulado utilizando interruptores y actuadores siendo los resultados los esperados. Seguidamente hemos realizado las pruebas con los interruptores y elementos de salida de la placa Nexys 4 siendo los resultados similares. Aunque el proceso controlado es bastante simple, el mismo puede ser ampliado a procesos más complejos que incluyan mayor número de entradas y salidas, como así también señales digitales y analógicas.

CONCLUSIONES

Nuestro proyecto esta en fase inicial de ejecución. El modelo puede ser ampliado para mas sensores y actuadores por modulo, además de aumentar el número de los mismos por módulo. En etapas posteriores nos proponemos ampliar su funcionalidad permitiendo la reconfiguración parcial dinámica aumentando la robustez del sistema ante la aparición de fallas en el controlador. Posteriormente se dotará al sistema de comunicación inalámbrica ya sea WIFI y/o Bluetooth para que los distintos módulos de medida y control puedan ser mas versátiles y el sistema de control tenga un mayor alcance y mayor conectividad con otras redes. Igualmente se puede ampliar la funcionalidad del modulo de control maestro añadiendo un modulo que funcionaría como Mirror para su funcionamiento en caso

de falla del mismo y siendo reemplazada evitando el colapso de todo el sistema controlado.

Otro aspecto importante a considerar es la posibilidad de que se pueda acceder mediante móviles y tabletas basadas en sistemas androide y usar estas terminales como puntos auxiliares para la modificación de las variables del proceso.

Finalmente exploraremos las posibilidades que ofrece la FPGA como herramienta de gestión de entornos SCADA por las facilidades que ofrece para la gestión de gráficos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado dentro del Proyecto de Investigación PINV-15-99, con financiamiento tanto del Programa PROCENCIA del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), así como de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción.

LITERATURA CITADA

- Berrojo, L., Corno, F., Entrena, L., Gonzalez, I., López, C., Sonza Reorda, M. & Squillero, G. (2002). An industrial environment for high-level fault-tolerant structures insertion and validation. *Proceedings of the 20th IEEE VLSI Test Symposium*, 1: 229-236.
- Chmiel, M., Kulisz, J., Czerwinski, R., Krzyzyk, A., Rosol, M. & Smolarek, P. (2016). An IEC 61131-3-based PLC implemented by means of an FPGA. *Microprocessors and Microsystems*, 44: 28-37.
- Digilent. (2016). *Nexys 4™ FPGA Board Reference Manual*. https://reference.digilentinc.com/_media/nexys:nexys4:nexys4_rm.pdf.
- Economakos, C. & Economakos, G. 2009. An architectural exploration framework for efficient FPGA implementation of PLC programs. *2009 17th Mediterranean Conference on Control and Automation*, 1: 1172-1177.
- Economakos, C.E., Skarpetis, M.G. & Economakos, G. (2014). Program-based and model-based PLC design environment for multicore FPGA architectures. *2014 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, 1: 726-733.
- Fernández, F. & Fabero, J.C. (2014) Allocation algorithms for dynamic partial reconfiguration on reconfigurable hardware. *3rd Conference of Computational Interdisciplinary Sciences*, 1: 402 - 404.
- Gawali, D. & Sharma, V.K. 2009. FPGA Based Micro-PLC Design Approach. *2009 International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies*, 1: 660-663.
- Mecafenix, F. (2019). Lenguajes para programación de plc. *Ingeniería Mecafenix*. <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/lenguajes-programacion-plc/>.
- Milik, A. (2014). On Ladder Diagrams Compilation and Synthesis to FPGA Implemented Reconfigurable Logic Controller. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 12(5): 443-451.
- Patel, D., Bhatt, J. & Trivedi, S. (2015). Programmable logic controller performance enhancement by field programmable gate array based design. *ISA Transactions*, 54: 156-168.
- Radulovic, M.I. Celebic, V.V. Kabovic, M.M. Kabovic, A.V. (2012). Realization of the teleprotection equipment interface for working with PLC equipment using FPGA logic. *2012 20th Telecommunications Forum (TELFOR) Telecommunications Forum (TELFOR)*, 1: 525-528.
- Subbaraman, S., Patil, M. & Nilkund, P. (2010). Novel integrated development environment for implementing PLC on FPGA by converting ladder diagram to synthesizable VHDL code. *2010 11th International Conference on Control Automation Robotics & Vision*, 1: 1791-1795.
- Xilinx (2015). Xilinx Artix-7 FPGAs. A new performance standard for power-limited,

cost-sensitive markets. https://www.xilinx.com/publications/prod_mktg/Artix-7-Product-Brief080113.pdf.

Yoo, J., Lee, J.H. & Lee, J.S. (2013). A research

on seamless platform change of reactor protection system from PLC to FPGA. *Nuclear Engineering and Technology*, 45(4): 477-488.

La importancia del control y monitoreo de la calidad del agua del Río Paraguay para el desarrollo y la defensa nacional

The importance of the control and monitoring of the water quality of the Paraguay River for development and national defense

Carlos Cañete¹

¹Departamento de Tecnología de Producción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción. carlosgerman07@hotmail.com

Resumen: El propósito de la investigación es contribuir al control de la contaminación hídrica, especialmente por la contaminación de los efluentes líquidos (arroyos) sin tratamiento originando la degradación y contaminación de los cauces hídricos. Por lo que el trabajo de investigación lleva como título La importancia del control y monitoreo de la calidad del agua del río Paraguay para el desarrollo y la defensa nacional. El objetivo del trabajo de investigación es la de Analizar la problemática de la importancia del Control y Monitoreo de la calidad de Agua del Río Paraguay para el Desarrollo y la Defensa Nacional. La investigación realizada ha basado su búsqueda en la observación, verificación y trabajo de campo (Toma de muestras y Análisis) de los factores que ayudarán a definir y sustentar la investigación. La falta de un sistema o programa de control y monitoreo permanente, que permita evaluar la calidad de las aguas del Río Paraguay, para consumo humano. La metodología utilizada para la investigación es la descriptiva. En conclusión podemos inferir que los efluentes que llegan al Río Paraguay se hallan contaminados, por lo que podemos mencionar que hay una débil capacidad institucional en dar cumplimiento de las leyes y a esto se suma la falta de políticas públicas efectivas, de esta manera reflexionamos, que si el agua que bebemos es potable y segura, siendo este un servicio gratuito.

Palabras Clave: Aguas residuales, Degradación, Contaminación hídrica, Efluentes líquidos, Tratamiento deficiente, Control, Monitoreo.

Abstract: The purpose of the research is to contribute to the control of water pollution, especially by the contamination of liquid effluents (streams) without treatment, causing the degradation and contamination of watercourses. So the research work is titled The importance of control and monitoring of the water quality of the Paraguay river for development and national defense. The objective of the research work is to analyze the problem of the importance of Control and Monitoring of the water quality of the Paraguay River for Development and National Defense. The research carried out has based its search on observation; verification and field work (Sampling and Analysis) of the factors that will help define and sustain the research. The lack of a system or program of permanent control and monitoring, that allows to evaluate the quality of the waters of the Paraguay River, for human consumption. The methodology used for the investigation is the descriptive one. In conclusion we can infer that the effluents that reach the Paraguay River are contaminated, so we can mention that there is a weak institutional capacity to comply with the laws and this is compounded by the lack of effective public policies, in this way we reflect, that if the water we drink is safe and potable, this being a free service.

Key words: Wastewater, Degradation, Water pollution, Liquid effluents, Deficient treatment, Control, Monitoring.

INTRODUCCION

El aumento de la población mundial, a la escasez de las fuentes de suministro especialmente en las zonas urbanas, ha preponderado una mayor dependencia del uso del agua incrementando, sus costes de extracción, tratamiento y distribución del líquido, hecho que la relación del recurso hídrico y la sostenibilidad desarrollen una “nueva cultura del agua”,

mediante nuevos modelos de gestión hídrica, por lo que la toma de decisiones debe de ir más allá de una gestión eficiente así como todos los subsistemas interdependientes que componen el conjunto de ríos, arroyos lagos, humedales y acuíferos que, además de suministrar el recurso, conforman un patrimonio con un capital natural que alberga vida y produce servicios para el bienestar social.

Recibido: 19/07/2018 Aceptado: 04/04/2018



Considerar que el agua también requiere de una Gestión, con una perspectiva de Compartimiento Globalizado y orientado al uso racional o será meramente de extracción, sin tomar en cuenta que es y será un problema con tendencia a posicionarse como una especie de conflicto de interés mundial del uso y tenencia del agua. Por ello se debe enfocar no solo a una discusión en estamentos jurídicos o de tecno-ciencia, sino buscar instalar una buena Gestión previsoras del recurso hídrico Paraguay. Por ello se debe considerar que la Gestión y uso del Recurso hídrico es encontrar la racionalidad, más aún si este está compartida con otros países, asegurando que su uso sea equitativo y solidaria, además de otras utilidades que pudiera tener como las domiciliarias, industriales, energéticas, agrícola, ganadera; como un servicio ecológico sostenible.

En lo que se refiere a los recursos hídricos como los ríos y arroyos son utilizados como desagües para los residuos urbanos. Estos volúmenes de agua que transportan y al movimiento de las mismas, los ríos son capaces de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas, etc., que reciben, sin embargo, frecuentemente las descargas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración y los ríos se deterioran, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de insectos, peces y la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por la interrupción de las cadenas alimenticias.

En relación a la ciudad de Asunción, el aumento poblacional está ocasionando que el río Paraguay esté teniendo la recepción de una gran cantidad de aguas servidas, las que interfieren con los usos a los que se destina el agua, afectando al oxígeno disuelto y generando olores no agradables.

Los derivados de hidrocarburos procedentes de las descargas de lubricantes en las Estaciones de Servicios, productos químicos, incluyendo los biocidas, pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensas activas contenidas en los detergentes y los derivados de la descomposición de

otras sustancias orgánicas han determinado que se convierta en un cuerpo de agua muy contaminado.

En cuanto a los componentes importantes para el detrimento de la calidad de las aguas del Río Paraguay, es la falta de conciencia ambiental de los habitantes, el río no solo está contaminado por aguas servidas sino que también se ha convertido en grandes sectores como vertedero de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). La calidad de las aguas del río se ve afectada por las descargas de agua residual urbana que este recibe.

Por los motivos citados, este trabajo se centró en examinar los factores relacionados con la contaminación de los recursos hídricos y su influencia en la calidad de vida.

Es de destacar la incidencia de una buena gestión para el control y monitoreo de la calidad de las aguas, como así también los problemas que se presentan, al no tener una certeza o seguridad de lo que se ofrece a la población, con síntomas y prevalencias de enfermedades de origen hídrico.

El estudio de investigación se llevo a cabo en la zona de Viñas Cue donde se da el cumplimiento de estudio de las aguas del Río Paraguay para su consumo (Figura 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Nos referimos a un tipo de paradigma que se basa en tres conceptos fundamentales: la validez, la confiabilidad y la muestra: “La validez, en este paradigma, implica que la observación, la medición o la apreciación se enfoquen en la realidad que se busca conocer, y no en otra. La confiabilidad se refiere a resultados estables, seguros, congruentes, iguales a sí mismos en diferentes tiempos previsibles. La confiabilidad se considera externa cuando otros investigadores llegan a los mismos resultados en condiciones iguales, e interna cuando varios observadores concuerdan en los hallazgos al estudiar la misma realidad.

La muestra sustenta la representatividad de un universo y se presenta como el factor crucial para generalizar los resultados”. Álvarez-Gayou, J. (2002).

Para conocer la calidad del agua se ha tenido



Figura 1. Planta de tratamiento de agua en Viñas Cue

en cuenta los siguientes criterios: Las características de cada muestra se compararon los valores obtenidos con lo establecido en el Padrón de Calidad de las Aguas en el Territorio Nacional - Resolución N° 222/02, la Norma EPA, la Norma Canadiense, la Norma Chile y la Norma Alemana. Se tomó la relación DBO5/DQO, como criterio para el establecer la biodegradabilidad de las aguas como sigue:

>0,8 = Muy biodegradable.

0,7 - 0,8 = Biodegradable.

0,3-0,7 = Poco biodegradable.

<0,3 = No biodegradable

También se puede observar (Tabla 1) algunos puntos donde las fuerzas y fortaleza contaminante de las aguas residuales domésticas son usualmente caracterizadas por su demanda Bioquímica de Oxígeno. Esto determina si el agua residual en cuestión es de composición fuerte, media o

Tabla 1. Actividades generadas del contaminante.

Características	Actividades generadas del contaminante
Propiedades Físicas	
Color Olor Sólidos Temperatura Conductividad Turbidez Material flotante Densidad Aspecto	La mayoría de estas características físicas son de origen doméstico; aguas residuales industriales, descomposición de residuos industriales, degradación natural de materia orgánica, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Contribuyentes químicos orgánicos	
Carbohidratos Tenso activos Fenoles Proteínas Compuestos orgánicos volátiles Plaguicidas Grasas animales, aceites y grasas vegetales.	Estos constituyentes químicos tienen su origen en descargas domésticas, comerciales, vertidos industriales, residuos agrícolas y degradación natural de materia orgánica.
Inorgánicas	
Alcalinidad Cloruros Metales pesados Nitrógeno pH Fósforo Azufre	Residuos domésticos, industriales, algunas infiltraciones de agua subterránea, vertidos industriales, residuos agrícolas.
Gases	
Sulfuro de Hidrógeno, Metano, Amoniac	Descomposición de residuos domésticos y/o industriales
Constituyentes biológicos	
Animales, Plantas, Protistas, Virus.	Efluentes de plantas de tratamientos, residuos domésticos, cursos de aguas abiertos

débil (Tabla 2). Entre otras tantas características determinantes son los sólidos en suspensión y de nitrógeno amoniacal.

A continuación se describen brevemente los

Tabla 2. Composición Típica de las Aguas Residuales Domésticas.

Constituyente	Concentración mg/l		
	Fuerte	Media	Débil
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días, 2 C° (DBO5)	350	200	100
Demanda química de oxígeno-DQO	1.000	500	250
pH	7.5	7.0	6.5
Sólidos totales	1.200	700	350
Sólidos Disueltos	850	500	250
Sólidos Fijos	525	300	145
Sólidos Volátiles	325	200	105
Totales Suspendidos	350	200	100
Sólidos Sedimentables	20	10	5
Carbono Orgánico Total (COT)	300	200	100
Nitrógeno Total (como N)	60	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco Libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosforo Total	20	10	6
Fosforo Orgánico	5	3	2
Fosforo Inorgánico	15	7	4
Cloruros	150	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	350	100	50
Grasas	150	100	50

constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al trabajo de campo (Tabla 3), con respecto a la toma de muestras de las aguas del Río Paraguay

Constituyentes de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica.

La Tabla 3 muestra las principales propiedades físicas del agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos y su procedencia.

Características Físicas, Químicas y Biológicas del Agua Residual

Brevemente se describen las constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al trabajo de campo, con respecto a la toma de muestras de las aguas del Río Paraguay y uno de sus principales afluentes A°Ytay, a fin de aplicar los métodos de análisis, y las unidades que se emplean para caracterizar la presencia de cada uno de los contaminantes potencialmente presentes en los mencionados recursos hídricos. No obstante se ajustará la determinación de los parámetros conforme al criterio técnico y equipamiento del laboratorio de la FACEN-UNA.

El Objetivo General de este estudio, es el de contribuir con la metodología de control de la contaminación hídrica, especialmente por la contaminación aportada por los efluentes líquidos, que sin tratamiento o con tratamiento esto es deficiente, así mismo son dispuestos directamente a los cursos hídricos superficiales, originando la degradación y contaminación de los cauces hídricos, lo cual ocasiona un gran daño al medio ambiente.

Para la realización de estos análisis se tomaron muestras de agua en el mismo momento,

se realizaron hasta 26 tipos de determinaciones para la detección de los niveles de: DBO, DQO, Grasas y aceites, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno NTK, Nitritos, Nitratos, Fosforo total, Cromo total, Manganeso total (Mn), Cloruro, Alcalinidad, Oxígeno disuelto, Turbidez, Sólidos totales, Sólidos suspendidos, Sólidos volátiles, Sólidos sedimentables, Conductividad, Temperatura del agua, Temperatura del aire, pH, Olor, Color, Coliformes Fecales, Coliformes totales.

Una vez obtenidos los valores de los parámetros de calidad, se clasificó el efluente como altamente contaminante, fuera de los parámetros de vertido, según comparación con los valores permisibles establecidos según Resolución N° 222/02 “por la

Tabla 3. Constituyentes de las aguas residuales: Características Físicas, Químicas y Biológicas del Agua Residual y sus Procedencias-Nivel de Referencia.

Características	Procedencia
Propiedades físicas:	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales
Olor	Aguas residuales en descomposición, residuos industriales
Sólidos	Agua de suministro, Aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Constituyente químico:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Grasa animal, aceite y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes Tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos Orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Inorgánicos	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, aguas de suministros, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, aguas de suministros, infiltración de agua subterránea
Metales Pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Azufre	Aguas de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Gases:	
Sulfato de Hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministros: infiltración de agua superficial
Constituyente Biológicos:	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamientos
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamientos
Protistas:	
Virus	Aguas residuales domésticas
Bacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento

Tabla 4. Resultados obtenidos por parámetros analizados A° Ytay (zona Aeropuerto)-Clase 3.

N°	Parámetro	Unidad	1°Camp.	2°Camp.	Promedio	Ref.-Res. SEAM N°222/02
1	DBO5	mgO ₂ /L	36,0	267,2	151,5	Hasta 10 mg/L
2	DQO	mgO ₂ /L	103,2	500,4	-----	<150mg/L
3	Grasas y aceites	mg/L	4,4	154	79,2	<50 mg/L
4	Nitrógeno amoniacal	mg/L	7,82	12,8	10,31	4 mg/L
5	Nitrógeno NTK	mg/L	19,00	25,8	22,4	3 mg/L
6	Nitritos	mgNO ₂ /L	0,025	8,9	4,5	4 mg/L
7	Nitratos	mgNO ₂ /L	<0,010	92,8	46,4	45 mg/L
8	Fosforo total	mg P/L	2,321	3,824	3,1	0,025 mg/L
9	Cromo total	mg /L	<0,001	0,87	0,435	0,5 mg/L
10	Manganeso total (Mn)	mg /L	1,936	2,123	2,03	0,1 mg/L
11	Cloruro	mg Cl/L	40,5	465	252,5	<250mg/L
12	Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	133,28	254,3	193,79	-----
13	Oxígeno disuelto	mgO ₂ /L	1,2	0,7	0,95	> 4 mg/L°
14	Turbidez	UTN	55	260	157,5	Hasta 100 UNT
15	Sólidos totales	mg/L	282,0	855,8	568,9	500 mg/L
16	Sólidos suspendidos	mg/L	476,0	658,5	567,25	50 mg/L
17	Sólidos volátiles	mg/L	196,0	258,8	227,4	-----
18	Sólidos sedimentales	mg/L	4,5	7,7	6,1	1 ml/L
19	Conductividad	uS/cm	546,0	1543,8	1044,9	1000 uS/m
20	Temperatura del agua	°C	19	24	21,5	<40°
21	Temperatura del aire	°C	28	30	24	-----
22	pH	UpH	7,5	5,3	6,4	6-9 UpH
23	Olor	-----	objetable	objetable	objetable	-----
24	Color	Pt-Co	19	25	22	15mg Pt-Co/L
25	Coliformes Fecales	UFC/1ml	208000	376500	376500	Hasta 4000
26	Coliformes totales	UFC/1ml	240000	2850000	2850000	-----

cual se establece el Padrón de Calidad de las Aguas en el Territorio Nacional”.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

El estudio revela las características del A° Ytay en zona Aeropuerto (Tabla 4).

En la Tabla 5 se puede también apreciar el resultado, como también los parámetros que tuvieron en cuenta según la Ref. Res. N°222/02 de la SEAM, donde se establece “un padrón de calidad de agua para la defensa de los niveles de calidad basados en parámetros e indicadores específicos, de modo a asegurar sus usos preponderantes”

Para conocer la característica de cada muestra se compararon los valores obtenidos con lo establecido en el Padrón de Calidad de las Aguas en el Territorio Nacional - Resolución N° 222/02, la Norma EPA, la Norma Canadiense, la Norma Chile y la Norma Alemana. Se tomó la relación DBO5/DQO, como criterio para el establecer la biodegradabilidad de las aguas del A°Ytay y del Rio Paraguay y su sector, como se indica en la Tabla 6.

La relación DBO5/DQO indica que este afluente del rio Paraguay, se puede clasificar como poco biodegradables. En la valoración físico-química de

Tabla 5. Resultados por parámetros analizados del Río Paraguay (zona Viñas Cué)-Clase 4.

N°	Parámetro	Unidad	1°Camp.	2°Camp.	Promedio	Ref.-Res. SEAM N°222/02
1	DBO5	mgO2/L	4,8	9,7	7,25	Hasta 10 mg/L
2	DQO	mg/L	6,5	12,3	-----	<150mg/L
3	Grasas y aceites	mg/L	0,9	1,7	1,3	trazas
4	Nitrógeno amoniacal	mg/L	7,82	8,22	8,02	4 mg/L
5	Nitrógeno NTK	mg/L	19,0	21,2	20,1	3 mg/L
6	Nitritos	mgNO2/L	0,025	3,5	1,763	4 mg/L
7	Nitratos	mgNO2/L	<0,010	16,7	8,36	45 mg/L
8	Fosforo total	mg P/L	0,138	0,174	0,156	0,025 mg/L
9	Cromo total	mg /L	<0,001	0,654	0,655	0,5 mg/L
10	Manganeso total (Mn)	mg /L	0,119	0,154	0,137	0,1 mg/L
11	Cloruro	mg Cl/L	14,7	157,3	86	<250mg/L
12	Alcalinidad	mg CaCO3/L	29,40	57,4	43,4	-----
13	Oxígeno disuelto	mgO2/L	4,5	3,8	4,2	> 2 mg/L°
14	Turbidez	UTN	102	104	103	Hasta 100 UNT
15	Sólidos totales	mg/L	138,0	452,4	198,7	500 mg/L
16	Sólidos suspendidos	mg/L	138,0	269,4	203,7	50 mg/L
17	Sólidos volátiles	mg/L	126,0	352,3	248,8	-----
18	Sólidos sedimentales	ml/L	<0,1	2,8	1,5	1 ml/L
19	Conductividad	uS/cm	145,2	765,2	455,2	1000 uS/m
20	Temperatura del agua	°C	18	21	19,5	<40°
21	Temperatura del aire	°C	24	25	24,5	-----
22	pH	UpH	7,7	6,5	7,1	6-9 UpH
23	Olor	-----	No objetiva	No objetiva	No objetiva	-----
24	Color	Pt-Co	15	17	16	15mg Pt-Co/L
25	Coliformes Fecales	UFC/1ml	80	6500	3290	Hasta 4000
26	Coliformes totales	UFC/1ml	300	1200	750	-----

las muestras realizadas durante las dos campañas, de los parámetros analizados presentaron valores por encima de los valores máximos permisibles, en base a lo establecido en el padrón de la Resolución N° 222/02 y a la norma de la EPA.

CONCLUSIÓN

Para cumplir objetivos de diverso tipo: En cuanto a la vigilancia y detección de contravenciones en el curso receptor y/o en los tributarios o afluentes que llegan al río Paraguay respecto a las Normativas vigentes, violación de los permisos de vertido acordados a cada empresa, detección de tendencias

en el nivel de los parámetros limitantes para los usos del agua priorizados en el curso o tramo en cuestión, evaluación del efecto de medidas de saneamiento implementadas en la cuenca o detección de la magnitud del poluyente o vertidos de efluentes accidentales.

La relevancia ambiental y socioeconómica de la región y la severidad de los efectos contaminantes que afectan, por ejemplo: al Río Paraguay, son las que definen en gran parte los criterios de diseño. Los criterios de diseño de la red implican, la localización de las estaciones y puntos de toma representativos para el estudio de calidad en la cuenca

Tabla 6. Biodegradabilidad (relación DBO5/DQO) fotocatalítica de la materia orgánica no biodegradable presente en efluentes de la industria farmacéutica. [Relación DBO5/DQO y Biodegradabilidad: >0,8 = Muy biodegradable. 0,7 - 0,8 = Biodegradable. 0,3-0,7 = Poco biodegradable. <0,3 = No biodegradable].

A°. Ytay	
Ira. campaña	2da. campaña
0,35	0,53
Poco biodegradable	Poco biodegradable

Rio Paraguay	
Ira. campaña	2da. campaña
0,74	0,79
biodegradable	biodegradable

del Rio Paraguay y sus afluentes; la selección del número de muestras (N) para cada parámetro de interés para el estudio y una frecuencia (F) adecuada al objetivo priorizado en el proyecto en cuestión (ejemplo: detección infracciones o de tendencias de calidad de agua).

La débil capacidad institucional de los organismos técnicos para el cumplimiento de las leyes y regulaciones ambientales, por la que son fácilmente vulnerados, que afectan a la calidad de las aguas del río Paraguay y otros recursos hídricos, además la falta de políticas públicas efectivas, para el manejo integrado de las aguas en las cuencas compartidas con otro país

Este trabajo tiene la intención de considerarse como una herramienta, a fin de mejorar la calidad de la información, y que ofrezca una herramienta válida en la toma de decisiones, para la Defensa Nacional, dando énfasis al Desarrollo Regional y Territorial como Política Pública Real y efectiva del Estado Paraguayo, y de lugar a una evaluación profunda del efecto de las medidas de saneamiento ambiental implementadas en la cuenca del Río Paraguay y otros, además instaurar con este trabajo una

inflexión para la reflexión de: “Quien nos asegura de que el agua que consumimos como potable es segura, siendo un servicio no gratuito”.

BIBLIOGRAFÍA

- Ávila García, P. (2003) *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XII: México desde una perspectiva global y regional*. México: El Colegio de Michoacán / Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente / Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 476 pp.
- Alfaro, J. (2008) *Conflicto, gestión del agua y cambio climático*. Lima: Soluciones prácticas. 124 pp.
- Cohn, D., Cox, P. (2002). *Aspectos de la Calidad del Agua, Salud y Estética*. Madrid: Mc Graw- Hill.
- Escobar, J. (2002) La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. *CEPAL - Serie Recursos e Infraestructura*, 50: 1-63.
- Garduño, H. (1994). *Ingeniería y Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*.
- Gómez Rendón, CP (2012). *Manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades. Lección 12. Objetivos del tratamiento*.
- Romero, J. (1994) *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Seoanez, M. (1995). *Aguas residuales Urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Madrid: Mundi-Fleusa.
- Shiva, V. (2002) *La Guerras del Agua: contaminación, privatización y negocio*. Barcelona: Icaria.
- Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. & Eaton, A.D. (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C.: America Public Health Association.
- Vozmediano, L y Guillén, C. (2010) *Criminología Ambiental*. Barcelona: UOC

Fitorremediación de cromo en efluente de curtiembre empleando *Eichhornia crassipes***Phytoremediation of chrome in tannery effluents using *Eichhornia crassipes***Leonida Medina García^{1,*}, Francisco Paulo Ferreira¹, Hajime Guillermo Kurita Oyamada³, Sergio Rodríguez Bonet^{1,2}, Edgar Fidel Galeano^{2,3} & Mariza R. Viera⁴¹Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Asunción. Campus Universitario. San Lorenzo- Paraguay. *Email: leonidamedina@gmail.com²Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN). Asunción Paraguay³Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Asunción. Campus Universitario. San Lorenzo- Paraguay.⁴Universidad Nacional de la Plata. La Plata -Argentina

Resumen: El cromo es uno de los mayores contaminantes inorgánicos de las aguas y del suelo en el Paraguay, acarreando serios problemas ambientales. Este metal proviene principalmente de efluentes de curtiembres que son vertidos a cursos de aguas. El objetivo de este trabajo es emplear técnicas de remediación alternativas para el tratamiento de aguas con alto contenido de cromo, utilizando medios naturales (plantas), en un proceso denominado fitorremediación. Ejemplares de *Eichhornia crassipes* fueron sometidos a una contaminación controlada con Cr³⁺ durante 20 días y se consideró la máxima concentración tolerada durante todo el periodo del experimento para estudiar la tasa y la capacidad de absorción del Cr³⁺ de la especie. Las constantes cinéticas de este proceso fueron: constante de absorción $K_{ab} = 0,10 \text{ días}^{-1}$, y tiempo medio de absorción: $t_{1/2} = 6,8 \text{ días}$. En el efluente final de curtiembre, con 22,4 mg.L⁻¹ de Cr³⁺, a las 48 horas se produjo una absorción casi completa del cromo suministrado, quedando en el efluente 1,28 mg.L⁻¹ del cromo. Los factores de translocación del cromo para *E. crassipes* fueron 0,008 y 0,02 en agua de pozo y efluente respectivamente y los factores de bioacumulación 11,6 y 3,2 respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre el contenido de clorofila en los vegetales expuestas en solución de cromo en comparación con el control. Tampoco se encontró oxidación del Cr³⁺ a Cr⁶⁺ medidos espectrofotométricamente.

Palabras clave: fitorremediación, cromo, efluente de curtiembre, *Eichhornia crassipes*.

Abstract: Chromium is one of the largest inorganic pollutants in water and soil in Paraguay, causing serious environmental problems. This metal comes mainly from tannery effluents that are dumped into water courses. The aim of this work was to use alternative remediation techniques for the treatment of waters with high chromium content, using natural media (plants), in a process called phytoremediation. Specimens of *Eichhornia crassipes* were subjected to controlled contamination with Cr³⁺ for 20 days and the maximum tolerated concentration during the whole period of the experiment was considered to study the cup and the absorption capacity of Cr³⁺ from the species. The kinetic constants of this process were: constant absorption: $K_{ab} = 0.10 \text{ days}^{-1}$, and absorption half time: $t_{1/2} = 6.8 \text{ dys}$. In the final tannery effluent with 22.4 mg.L⁻¹ of Cr³⁺, at 48 hours there was almost complete absorption of the chromium supplied, leaving 1.28 mg.L⁻¹ of chromium in the effluent. The chromium translocation factors for *E. crassipes* were 0.008 and 0.02 in well water and effluent respectively and bioaccumulation factors were 11.6 and 3.2 respectively. No significant differences were found between the chlorophyll content in the plants exposed in chromium solution compared to the control. Neither was oxidation found from Cr³⁺ to Cr⁶⁺ spectrophotometrically measured.

Keywords: Phytoremediation, chrome tannery effluent, *Eichhornia crassipes*.

INTRODUCCIÓN

El agua es considerada un importante bien y es caso en muchos países de todo el mundo. El nivel elevado de metales como, por ejemplo, cadmio, cromo y mercurio en las corrientes de agua, es una

importante preocupación ambiental y para la salud pública, reduce significativamente la calidad del agua, además de causar los efectos adversos sobre los humanos y animales acuáticos (Pandey, 2016). Existen diversas fuentes de estos metales en el agua,

Recibido: 10/10/2018 Aceptado: 25/04/2019



tanto de origen natural como antropogénicas. Con el continuo crecimiento de la población mundial y con ella el incremento de industrias, a fin de satisfacer las necesidades humanas, se generan residuos y utilizan recursos en detrimento de la calidad medioambiental.

De la necesidad de proteger y preservar el medio ambiente, se han desarrollados numerosas metodologías de tratamiento de las aguas residuales, para que los contaminantes no lleguen a los cursos hídricos.

En la actualidad, se desarrollan diversas biotecnologías de remediación de aguas entre ellas la fitorremediación que hace uso de los sistemas macrófitas de diversas formas, llamados también filtros verdes o biofiltros, con el fin reducir la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos, de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes. Es una tecnología relativamente reciente y se percibe como una tecnología rentable, eficiente, novedosa, respetuosa con el medio ambiente e impulsada por energía solar con buena aceptación pública. La fitorremediación es un área de investigación activa actual. Se están explorando nuevos e hiperacumuladores de metal

eficientes para aplicaciones en fitoremediación y fitomejoramiento (Alí *et al*, 2013).

Las operaciones y procesos de las curtiembres, generan residuos líquidos y sólidos que se distinguen por su elevada carga orgánica y presencia de agentes químicos que pueden tener efectos tóxicos, como es el caso del sulfuro y el cromo. Las variaciones en cuanto al volumen de los residuos y la concentración de la carga contaminante se presentan de acuerdo a la materia prima procesada y a la tecnología empleada (Tancioni *et al*, 2000).

En nuestro país, la mayoría de las curtiembres utilizan sulfato de cromo (III) en la etapa del curtido, aunque se realizan tratamientos para disminuir la carga de compuestos tóxicos, la concentración de cromo en el agua residual en la salida final de alguna planta de tratamiento, es aún superior a la admitida por la legislación vigente. Art. 7 Res. 222/02 SEAM.

Los tratamientos de aguas residuales que involucran macrófitas flotantes, han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con alto contenido de nutrientes y sustancias tóxicas. Su importancia, radica en su aptitud para ser empleado en núcleos rurales, debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas de tratamiento (Martelo & Lara Borrero, 2012).



Figura 1. Lugar de colecta de *E. Crassipes*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras de la especie vegetal

Los ejemplares de *E. crassipes* fueron colectados de su ambiente natural, el Río Paraguay, en la zona de la Ciudad de San Antonio (25°26'04,1" S 57°33'22,4" W), Departamento Central Figura 1. Las muestras colectadas se colocaron en envases con agua del río. Luego las plantas fueron transportadas hasta el invernadero doméstico construido para este fin, donde se retiraron las partes dañadas y restos de sustancias extrañas de las raíces y fueron lavadas con abundante agua de pozo, se colocaron en un recipiente de 1000 litros para su aclimatación y reproducción, como se muestra en la Figura 2.

El esquema de adaptación que se muestra en la Tabla 1, consistió en la sustitución parcial del agua del río por agua del pozo, en proporciones 50:50 durante una semana, hasta llegar al 100% de agua de pozo cuyos parámetros físico-químicos se determinaron de acuerdo a los requerimientos de la NP 24 001 80/2011 Agua Potable, empleando los métodos analíticos del "Standar Methods" para análisis de aguas y aguas residuales (APHA, AWWA, 2012). Además se determinó parámetros del agua de río extraído del lugar de la colecta de *Eichhornia crassipes*, empleando los mismos métodos analíticos.

Un ejemplar con flor, fue depositado en el Laboratorio de Análisis de Recursos Vegetales



Figura 2. Aclimatación de las plantas colectadas.

Tabla 1. Condiciones de adaptación.

Agua	T °C	pH (UpH)	CE (µS/cm)
Río	33,0	6,8	108,0
Pozo	29,0	5,3	184,3
Río : pozo(50:50)	31,0	6,1	126,6
Río: pozo (20:80)	30,0	5,5	149,9

del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, para su identificación taxonómica.

Los nuevos estolones fueron separados en otros recipientes. Las plantas de *Eichhornia crassipes* empleadas en los ensayos, se seleccionaron en base al tamaño, peso húmedo y número de hojas.

Toma de muestra de efluente final de curtiembre

Las muestras de efluente final de curtiembre utilizadas fueron provistas por el consultor de la curtiembre PELT S.A. La misma está ubicada en la calle Buena Ventura y Paraguari, Barrio Santa Librada de la ciudad de Yaguarón, al noroeste del departamento de Paraguari, distante 48 km de la capital Asunción.

Se determinaron en el efluente los parámetros solicitados en el padrón de calidad de aguas en el territorio nacional resolución 222/02 artículo 7° de la SEAM El método analítico empleado fue según (APHA, AWWA, 2012).

Soluciones de cromo

Se preparó una solución madre de Cr^{3+} de 200 mg.L⁻¹, a partir de una sal comercial, sulfato básico de cromo $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$, sustancia muy utilizada para la etapa de curtición, mediante cálculo estequiométrico utilizando los datos de las especificaciones del certificado de calidad del producto.

Ensayo de tolerancia al cromo en solución acuosa de *E. crassipes*

Se prepararon ocho soluciones de diferentes concentraciones que detallan en la Tabla 2 y distribuidos en frascos nuevos de polipropileno de 700 mL

Tabla 2. Concentraciones de Cr^{3+} en las soluciones.

Soluciones	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentraciones teóricas (mg.l^{-1})	2	5	10	15,0	20	50	100	200
Concentraciones reales (mg.l^{-1})	0,12	3,3	6,7	16,0	17,8	68,5	100,5	199,5

conteniendo 500 mL con 5 réplicas de cada concentración, en los cuales se expusieron la *Eichhornia crassipes* (una unidad en cada vaso) como se ilustra en la Figura 3.

Fueron seleccionadas de acuerdo al número de hojas (entre 3-4 unidades), largo del tallo ($16,5 \pm 4,7$ cm) y largo de la raíz ($17,0 \pm 7,1$ cm). De las 5 réplicas, 3 fueron seleccionados al azar para el monitoreo.

También se realizaron controles que consisten en las plantas expuestas solamente en agua de pozo (control negativo), las soluciones de cromo sin planta (control positivo) y controles de pH.

Ensayo de selección del método de extracción del cromo en las macrófitas

Como parte del trabajo se evaluaron dos metodologías de extracción del cromo captado por las



Figura 3. Ensayo de tolerancia. **a)** *Eichhornia crassipes* en solución de Cromo. **b)** Control positivo. **c)** Control negativo. **d)** Control de pH.

plantas: Vía seca, combustión seca (o calcinación) y Vía húmeda (digestión ácida).

Para ello se utilizó una solución estándar de cromo de 20 mg.L^{-1} como referencia y las plantas expuestas a concentraciones altas en el ensayo de la evaluación de la tolerancia. Estas muestras de vegetales fueron lavadas con agua de pozo, colocadas en bandejas de aluminio y secadas a temperatura ambiente en el invernadero durante 5 días. Luego fueron transportadas al laboratorio, donde se procedió a la separación de raíz y parte aérea. Las fracciones fueron colocadas por separadas en bandejas de aluminio bien identificadas y se continuó el secado en estufa a $75 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 48 horas. Una vez terminado el periodo de secado se colocaron en un desecador durante 2 horas y posteriormente fueron molidas, mediante un molino de laboratorio. Estas fracciones molidas se guardaron en frascos de plástico con tapa hermética bien identificada hasta su posterior tratamiento por calcinación y digestión ácida.

El cromo extraído del medio líquido y de los tejidos vegetales se cuantificó mediante lecturas por espectrofotometría de absorción atómica según metodología estandarizada, llama aire-acetileno método 3111 B (APHA, AWWA, 2012).

Ensayo de remoción de cromo de efluente final de curtiembre

Al no detectarse cromo en el mismo siguiendo la técnica convencional, se agrega al efluente la solución madre de cromo de 200 mg.L^{-1} de modo a lograr una concentración final similar a la máxima tolerable por la especie.

El tiempo y las condiciones de exposición, así como los procedimientos de extracción de muestra de efluente y del material vegetal, el procesamiento de las mismas, así como de los controles y la cuantificación de cromo fueron iguales a los descritos en el punto anterior

Se determinó Cr^{6+} al inicio y final del experimento para observar si hubo oxidación del cromo. El procedimiento se realizó conforme al método colorimétrico 3500-Cr D descrito en el (APHA, AWWA, 2012)

Determinación de clorofila

Con el fin de observar si el crecimiento de las plantas fue afectado por la presencia de Cr^{3+} se realizaron determinaciones de contenido de clorofila en las plantas. Para ello, se homogeneizaron 0,1 g de hoja del material vegetal fresco en 10 ml de etanol absoluto. Se centrifugaron a aproximadamente 2500 rpm durante 5 min a $15 \text{ }^\circ\text{C}$. La cuantificación de la clorofila $a+b$ se realizó mediante lecturas espectrofotométricas a 664 nm (Wintermans & De Motts, 1965)

Los valores de absorbancia se tradujeron a microgramos de clorofila/g de tejido (o microgramos/mg), mediante los siguientes cálculos:

$$\text{clorofila } a + b = \frac{1000A (664 \text{ nm})}{39}, \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\mu\text{g de clorofila}}{\text{Pf de hoja}} \left[\frac{\text{nv}}{p} \right] \quad (2)$$

Siendo:

V: volumen de etanol usado en la extracción en mL

n: microgramos de clorofila/mL, según la ecuación (1)

Pf: peso fresco del material vegetal presente en el extracto en gramos o miligramos.

Para observar si la cantidad de clorofila se veía afectada por el tratamiento, se evaluó el contenido de clorofila en los vegetales en dos condiciones: el vegetal en agua libre de cromo (control) y los vegetales expuestos a la solución de cromo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Colecta de *E. crassipes* y adaptación a condiciones de cultivo

Suficientes ejemplares de *E. crassipes* fueron colectados de su ambiente natural, el esquema de sustitución gradual (Tabla 1), del agua del origen por el agua de adaptación resultó exitoso obteniéndose cantidad necesaria de plantas hijas para la realización de los ensayos. La temperatura, pH y conductividad eléctrica del agua del río en

el momento de la colecta, el agua de pozo y las proporciones utilizados resultaron favorables para la adaptación.

Evaluación de la tolerancia *E. crassipes* al cromo en solución acuosa

Las plantas colocadas en las soluciones 1, 2, y 3 (de bajas concentraciones), detalladas en la Tabla 2, presentaron crecimientos normales, comportándose de manera similar al sistema control (soluciones sin cromo), es decir, desarrollaron nuevos estolones y no se observó palidez en las hojas, además vivieron hasta el final del experimento sin evidenciarse signos de deterioro.

Las plantas expuestas a la solución 4, no presentaron signos de marchitamiento en los primeros días de exposición, luego comenzaron a marchitarse, llegando a casi 70% de marchitamiento después de los 4 días. Posteriormente se mantuvieron estables sin nuevos signos de deterioro hasta el día 8, a partir del cual se manifiesta nuevamente marchitamiento seguido de una recuperación con brote de nuevas hojas.

El porcentaje de marchitamiento osciló entre 30 y 70 % durante todo el periodo de observación, llegando a un 60 % al final debido al marchitamiento de las hojas existentes desde el inicio y el desarrollo de nuevos estolones durante todo el periodo de exposición.

La recuperación de las plantas y posterior marchitamiento da indicios de que esta concentración es el límite tolerable.

Las plantas en las soluciones 1 al 4, sobrevivieron hasta el final del periodo de ensayo (20 días).

Las *E. crassipes* que fueron expuestas a altas concentraciones, soluciones de 5 al 6, se marchitaron completamente a los 6 días de exposición sin haber desarrollado nuevos estolones. Esto indicó que estas concentraciones resultaron tóxicas para la especie, como se observa en la Figura 4.

En un trabajo realizado por Gonzales *et al* (2017) en tolerancia al metal en cultivares de cebada y trigo, en el caso de Cr, el desarrollo de la planta y los rasgos fisiológicos se vieron significativamente afectados. Para la concentración más alta de Cr.

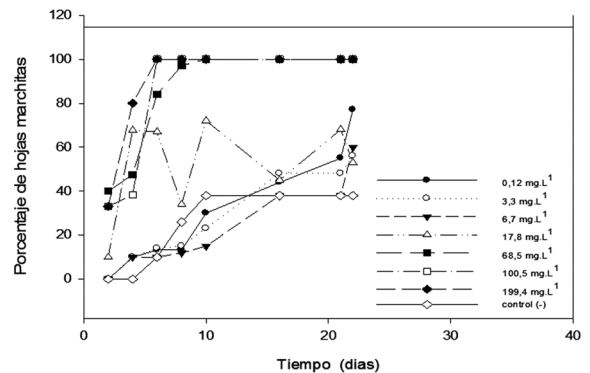


Figura 4. Tolerancia de *E. crassipes* a distintas concentraciones de cromo en función del tiempo de exposición evaluadas como el porcentaje de hojas muerta.

Ensayo de selección del método de extracción del cromo de las macrófitas

Los resultados de los dos métodos de extracción, vía seca y vía húmeda tanto para un estándar de cromo de 20 mg.L⁻¹ y para el material vegetal seco se muestran en la Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente.

Se encontró que la cantidad de cromo recuperado en el proceso de vía húmeda fue muy superior al recuperado por vía seca, debido a que hubo menos pérdida de analito comparado con el método por vía seca. La poca recuperación del analito por vía seca podría deberse a la formación de óxidos de cromo durante la incineración de las muestras, y este es insoluble en agua y no es fácilmente atacado por ácidos o bases.

El límite de detección (LD) y de cuantificación (LQ) del mismo en parte aérea y raíces del material vegetal fueron LD (mg.g⁻¹):0,01 y 0,1 LQ (mg.g⁻¹):0,02 y 0,2 respectivamente.

Ensayo de capacidad de absorción de cromo por *E. crassipes*

Para determinar la capacidad de absorción de cromo por parte de las plantas, se analizaron muestras expuestas a 500 mL de soluciones ,6,7 y 8 que corresponden a cantidades suministrada de 34,2; 50,2 y 99,7 mg de Cr³⁺ por unidad del vegetal, respectivamente. Después de 6 días de exposición de las plantas a las soluciones de cromo se marchitaron completamente, es decir resultaron tóxicas para la especie.

Tablas 3-4. Recuperación de cromo por vía húmeda y vía seca. **3)** a partir de la solución estándar. **4)** Recuperación por vía húmeda y vía seca a partir del material vegetal.

3	Método	Estándar de Cr 20 (mg.L ⁻¹)	Recuperación (mg.L ⁻¹)	Recuperación (porcentaje)
	Vía Húmeda	20,0	18,7	93,4
	Vía Seca	20,0	0,02	1,4

4	Método	Suministrado (mg)	Recuperación (mg)	Recuperación (porcentaje)
	Vía Húmeda	34,2	23,9	69,9
	Vía Seca	34,2	8,9	26,1

Los análisis del contenido de cromo en las partes aéreas de las plantas mostraron un importante aumento de la solución 6 al 7. Acumularon 7,8 a 22,5 mg. respectivamente, seguido de una leve disminución de la cantidad absorbida al aumentar la cantidad de cromo suministrada 20,9 mg. en la solución de 8 y en las raíces se mantuvo entre 15 y 18 mg en las concentraciones altas. El mayor porcentaje absorbido por unidad de vegetal se observó en el suministro de 50,2 mg de Cr³⁺, (ver Figura 9).

Ensayo de remoción de cromo a partir de una solución de agua de pozo

La Figura 5 muestra la variación de la concentración de cromo en la solución (inicialmente de 16,00 mg.L⁻¹), que suministró 8,0 mg Cr³⁺ por cada recipiente que contiene 500 ml de solución y un ejemplar

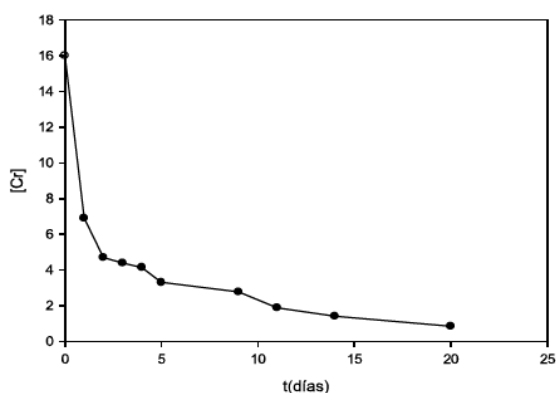


Figura 5. Variación de la concentración de cromo en función del tiempo.

de la especie. Se encontró que la mayor cantidad de cromo fue absorbido en los primeros días de exposición (48 horas), luego disminuye gradualmente en el transcurso del tiempo, quedando 1,05 mg Cr³⁺.L⁻¹ al final de los 20 días y no se observó signos de fitotoxicidad.

Este tipo de comportamiento se puede asimilar a una cinética de pseudo primer orden, graficando la

[Cr] vs t, y de acuerdo a la ecuación de cinética de

primer orden $\frac{[Cr]}{[Cr_0]} = e^{-kt}$, graficando $\frac{[Cr]}{[Cr_0]}$ vs t, ec-

uación (3), en la Figura 6, se observa un decaimiento exponencial y linealizando la ecuación aplicando

logaritmo natural a la ecuación de primer orden resulta $\ln \frac{[Cr]}{[Cr_0]} = -k.t$ y graficando $\ln \frac{[Cr]}{[Cr_0]}$ vs t,

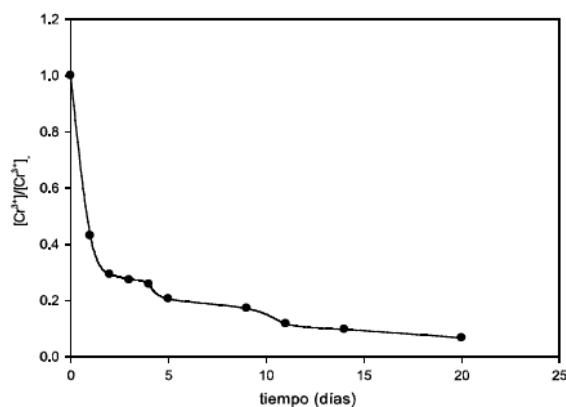


Figura 6. Gráfica según la ecuación de cinética de primer orden.

ecuación (4), se obtiene la pendiente de la línea recta que corresponde al valor de la constante de absorción se muestra en la Figura 7 y el tiempo de vida media aplicando la fórmula correspondiente

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

K_{ab} : 0,10 días⁻¹, y el $t_{1/2}$ = 6,8 días⁻¹.

A fin de observar si hubo oxidación de la solución durante el transcurso del experimento, se realizó la determinación de Cr⁶⁺ en la solución acuosa inicial y al final del tiempo de exposición. En ambos casos, no se detectó la presencia del analito en la solución.

Ensayo de remoción de cromo en efluente final de curtiembre

La concentración real de como en el efluente fortificado se determinó en el momento de iniciar el ensayo arrojando como resultado 22,4 mg Cr³⁺.L⁻¹ que suministró 11,2 mg Cr³⁺ por 500 ml de solución a cada unidad vegetal y se procedió como se describió anteriormente.

Se encontró que la máxima cantidad de cromo absorbido en las primeros días de exposición, (48 horas), luego disminuyó a 1,28 mg.L⁻¹, por debajo del máximo admisible para efluente a ser vertidos a cursos de agua, en la solución residual, manteniéndose constante en ese valor por el resto del periodo de ensayo como se observa en la Figura 8. Mayor cantidad del cromo absorbido se encontró en la raíz del vegetal tanto para la solución como para el efluente, no obstante, hubo mayor remoción

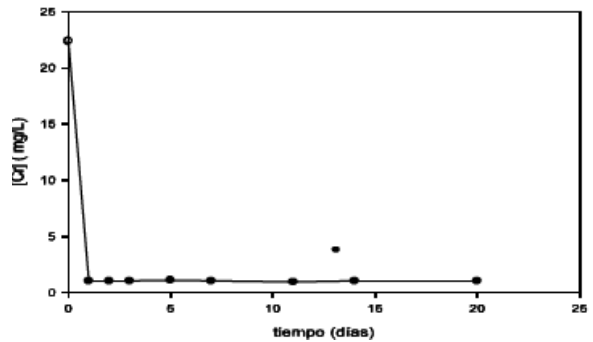


Figura 8. Grafica de concentración de Cr³⁺ en el efluente en función del tiempo.

de cromo desde el efluente, en total 98,1 % de la cantidad suministrada por unidad de vegetal, se muestra en la Figura 9.

Estos comportamientos son similares a los observados por Maine et al., (2001) para la remoción de cadmio con *E. crassipes*, a partir de una concentración de 1 mg Cd.L⁻¹. Dicha concentración fue disminuyendo durante todo el tiempo del experimento. La mayor parte de esta reducción tomó lugar en las primeras 24 horas. A los 21 días la *E. crassipes* absorbió aproximadamente 72% de la concentración inicial, lo que indicó que la especie tiene una alta capacidad de remoción de Cd.

En otro estudio de absorción de cromo trivalente, utilizando sauce híbrido, Yu & Gu (2007) observaron que más de 90% de Cr³⁺ aplicado fue removido de la solución hidropónica en concentraciones de hasta 7,5 mg de Cr.L⁻¹. Aproximadamente el 70 % del cromo fue recuperado en los materiales vegetales. En el tratamiento con bajo

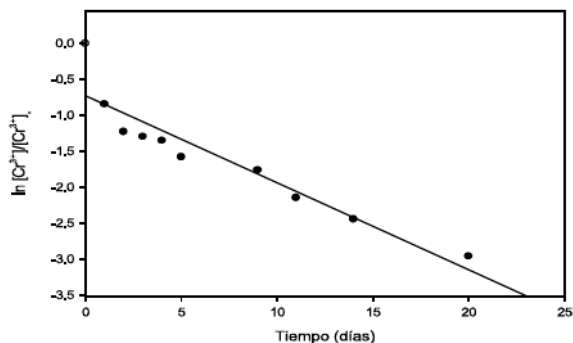


Figura 7. Grafica de licalizacion de la ecuación de primer orden.

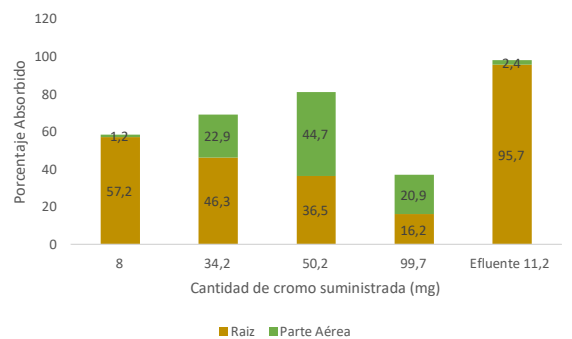


Figura 9. Porcentaje de cromo absorbido por organo de *E. Crassipes*.

Tabla 5. Absorción de cromo por el tejido vegetal.

Cromo suministrado	Solución 8,0 mg/500mL	Solución 5 34,2 mg/500mL	Solución 6 50,2 mg/500mL	Solución 7 99,7 mg/500mL	Efluente 11,2 mg/500 mL
Cromo (mg) Absorbido Parte aérea	0,1	7,8	22,5	20,9	0,3
Cromo (mg) Absorbido Raíz	4,6	15,8	18,3	16,1	10,7
Cromo (mg) Absorbido Planta	4,7	23,6	40,8	37,0	10,9

contenido de cromo ($2,5 \text{ mg.L}^{-1}$) la acumulación fue mayor en la raíz (92%) y más bajas en las hojas (0,2%).

Las cantidades de cromo absorbidas por las distintas partes de la planta *E. crassipes* se muestran en la Tabla 5. El Cr^{6+} en el efluente, tanto al inicio como al final resultaron inferiores al límite de detección del método.

El análisis de la varianza se los datos obtenidos mediante la herramienta estadística ANOVA de un factor ($p=0,05$), arrojó una diferencia significativas del contenido de Cr^{3+} en las partes aéreas y raíces de *E. Crassipes* entre las concentraciones estudiadas.

La prueba de Tukey también mostró que existe diferencia significativas en el contenido de Cr^{3+} en la las partes aéreas y raíces de *E. crassipes* para concentraciones altas ver en la Tabla 5

Al final del ensayo se observó disminución importante de la mayoría de los parámetros fisicoquímicos ensayados del efluente, estas diferencias se observan en la Tabla 6. y Según el estudio realizado por Sricoth et al, (2018) el extenso sistema de raíces de las plantas mejoró la calidad del agua según lo determinó una marcada disminución de la turbidez después de 7 días de tratamiento. El contenido de DBO sirvió como un indicador útil de la calidad del agua; La DBO disminuyó en un 91% en 21 días, *E. crassipes* acumulo metales tanto en

las raíces como en los brotes.

Factor de Translocación y bioacumulación

Los datos obtenidos de la Tabla 5 fueron usados para estimar los factores de translocación (FT) y Bioconcentración (FBC).

El factor de translocación para el cromo en las plantas se calculó como la concentración de cromo en la parte aérea dividida entre la concentración en la raíz. El factor de bioconcentración fue expresado por la proporción de la concentración del metal en la raíz sobre la concentración total en el agua (Tu et al., 2003, Rizzi et al., 2004, Maldonado et al., 2011)

$$CFT = \frac{\text{metales en la parte aérea}}{\text{metales en raíces}} \quad (5)$$

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos del efluente.

Parámetros	Inicial (mg.L^{-1})	Final (mg.L^{-1})	Disminución (%)
pH (upH)	8,0	8,1	---
Demanda Química de Oxígeno	340,0	266,2	21,7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	26,0	14	46,2
Nitrógeno Amoniacal expresado en $\text{NH}_3\text{-N}$	58,2	1,4	97,6
Nitrógeno total kjeldhal expresado en $\text{NH}_3\text{-N}$	72,8	7,0	90,4
Grasas y aceites	8,4	No se detecta	100
Sólidos en suspensión	24,5	No se detecta	100
Cromo hexavalente	<0,1	<0,1	---
Cromo total	22,4	1,28	94,3

Tabla 7. Factores de translocación y bioacumulación.

Cromo (mg/500 ml)	8,0	34,2	50,2	99,7	11,2 (Efluente)
FT	0,008	0,18	0,42	0,44	0,02
FBC	11,6	588,6	455,9	206,0	3,2

$$FBC = \frac{\text{metales en la raíz}}{\text{metales en el agua}} \quad (6)$$

Las Tabla 7 presenta los FT y FBC estimados para las soluciones y del efluente, en todos los casos los factores de translocación resultaron inferiores a uno ($FT < 1$) indicando que no hubo importante translocación del metal desde la raíz a la parte aérea, los factores de bioacumulación mayor a la unidad ($FBC > 1$), significa acumulación del cromo trivalente en las raíces del vegetal, tanto en soluciones como en efluente y los $FBC \gg 1$ en las soluciones de concentraciones altas es sinónimo de un hiperacumulación del metal en la raíz del vegetal.

La distribución de Cr^{3+} en los tejidos vegetales varió con las concentraciones iniciales del mismo. A bajas concentraciones, la translocación de raíz a la parte aérea fue menor que a altas concentraciones, no obstante en ambos casos las raíces fueron el principal acumulador de este metal., según Faisal y Hasnain (2005) La *E. Crasipes* es un excelente removedor de cromo y otros metales pesados del medio Ambiente.

Los valores de FT Y FBC **0,44 y 206** son muy cercanos a los valores obtenidos por Subhashini & Swamy (2013) en la Fitorremediación de Cd y Cr de suelo contaminado usando *Physalis minima* Linn, al final de experimento (60 días) se observó que la acumulación de los mismos fue más alta en la raíz que en las partes aéreas, los FT y FBC estimados resultaron, Para Cd 2,17 y 51,2; para Cr **0,48 y 218**. FBC **3,2** para Cr encontrado en el efluente de curtiembre (Tabla 7) es muy próximo al encontrado por Pandey (2016) en fitorremediación

Tabla 8. Concentración de Clorofila.

Muestra	Promedio Clorofila/ peso fresco ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Disminución (%)
Control al inicio	2546,2	
Control al final	1329,7	48
Muestras al final	1215,5	52

en estanque de cenizas volátiles con *E. crassipes*, Cr (3.75) > Cu (2.62) > Cd (1.05), and Cu (1.35) en la raíz y vástago.

Determinación de clorofila

Se encontró, que a lo largo del periodo de ensayo hay una disminución de la clorofila en las plantas, tanto en los ejemplares control, como así también en las plantas que fueron expuestas en solución de cromo, siendo el porcentaje de disminución 48% y 52% respectivamente, como muestra la Tabla 8.

El análisis de varianza de los datos indicó que la disminución del contenido de clorofila en las plantas control y en las expuestas a cromo no es significativamente diferente al 95 % de confianza. La presencia de cromo en el agua no afectó significativamente el contenido de la clorofila en las plantas expuestas a $16,0 \text{ mgCr}^{3+}\cdot\text{L}^{-1}$.

En el trabajo de Yu & Gu (2007) se demostró que el contenido clorofila en las hojas de sauce híbrido tratadas, varió con la dosis de cromo. El contenido de clorofila en las hojas de los sauces expuestos a $7,5 \text{ mg Cr}\cdot\text{L}^{-1}$ fue más alto que el de las plantas no tratadas, pero inferior a aquellas tratadas con $30,0 \text{ mg de Cr}\cdot\text{L}^{-1}$.

CONCLUSIONES

Los ejemplares de *Eichhornia crassipes* colectadas se adaptaron y reprodujeron satisfactoriamente y los experimentos se realizaron con los nuevos estolones seleccionados de acuerdo al tamaño, peso y número de hojas.

En cuanto al método de extracción del cromo, se encontró que la vía húmeda fue más eficiente y

se utilizaron en todos los ensayos realizados.

La máxima concentración tolerable de las estudiadas resultó 17,8 mgCr³⁺.L⁻¹, concentraciones inferiores se comportaron como el control y concentraciones mayores resultaron letales para esta especie.

Basado en el FBC estimados y en los análisis estadísticos de la varianza del contenido de cromo en los órganos vegetales. La *E. Crassipes* resultó una acumuladora de Cr³⁺ y translocación de Cr³⁺ de la raíz a las hojas es limitada por la cantidad suministrada y en las condiciones del experimento no hubo oxidación (biótica o abiótica) del cromo trivalente, ni afectó significativamente el contenido de la clorofila en las plantas.

El tratamiento propuesto en este trabajo, muestra que se logra la disminución de cromo en agua residual por debajo de los estándares de la ley. La información sugiere que la bioacumulación de Cr³⁺ de agua contaminada a través de la fitorremediación es una tecnología alternativa y prometedora de remediación actualmente disponible.

AGRADECIMIENTOS

A FACEN, por la oportunidad brindada para la realización de la Maestría en Físicoquímica Ambiental. A CONACYT, por la financiación de la mencionada Maestría. A los profesionales docentes y técnicos de los laboratorios de ensayos de FACEN e INTN.

LITERATURA CITADA

- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals--concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>.
- APHA, AWWA, W. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Pandey, v. c. (2016). Phytoremediation efficiency of *Eichhornia crassipes* in fly ash pond. *International Journal of Phytoremediation*, 18(5), 450–452. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1109605>
- Barbafieri, M., Tassi, E., Rizzi, L., Molinar, M., & Nardella, A. (2004). Phytoremediation treatability test for an industrial site contaminated by Pb, Zn and As. *Soil & Sediment Contamination*, 13(2), 215. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=sso&db=geh&AN=2006-064196&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Faisal, M., & Hasnain, s., (2005). Beneficial role of hydrophytes in removing Cr(VI) from wastewater in association with chromate-reducing bacterial strains *Ochrobactrum intermedium* and *Brevibacterium*. *International Journal of Phytoremediation*, 7(4), 271–277. <https://doi.org/10.1080/16226510500327111>
- González, Á., del Mar Gil-Díaz, M. & del Carmen Lobo, M. J *Soils Sediments* (2017) 17: 1403. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1387-4>
- Maine, M. A., Duarte, M. V., & Suñé, N. L. (2001). Cadmium uptake by floating macrophytes. *Water Research*, 35(11), 2629–2634. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00557-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00557-1)
- Maldonado-Magaña, A., Favela-Torres, E., Rivera-Cabrera, F., & Volke-Sepulveda, T. L. (2011). Lead bioaccumulation in *Acacia farnesiana* and its effect on lipid peroxidation and glutathione production. *Plant and Soil*, 339(1), 377–389. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0589-6>
- Martelo, J., & Lara Borrero, J. A. (2012). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte. *Ingeniería y Ciencia. Ing. Cienc. ISSN 1794-9165*, 8 (15), 221–243. Retrieved from www.redalyc.org/articulo.oa?id=83524069011
- Sricoth, T., Meeinkuir, W., Pichtel, J., Taepayoon, P., & Saengwilai, P. (2018). Synergistic phytoremediation of wastewater by two aquatic plants (*Typha angustifolia* and *Eichhornia crassipes*) and potential as biomass fuel. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(6), 5344–5358. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0813-5>
- Subhashini, V., & Swamy, A. V. V. S. (2013). Phytoremediation of Cadmium and Chromium From Contaminated Soils Using *Physalis*

- Minima Linn. *American International Journal of Research in Formal, Applied & Natural Sciences*, 3(1), 119–122. Retrieved from <http://www.iasir.net>
- Tancioni, A., Bruno, M. R., García, B. N., Bianchi, L. I., & Alvarez, J. H. (2000). Método de remediación natural para completar la depuración de efluentes industriales contaminados con cromo vi., (1). Retrieved from http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/AR04575_Tancioni.pdf
- Tu, C., Ma, L. Q., Zhang, W., Cai, Y., & Harris, W. G. (2003). Arsenic species and leachability in the fronds of the hyperaccumulator Chinese brake (*Pteris vittata* L.). *Environmental Pollution*, 124(2), 223–230. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00470-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00470-0)
- Wintermans, J. F. G. M., & De Mots, A. (1965). Spectrophotometric characteristics of chlorophylls and their phenophytins in ethanol. *BBA - Biophysics Including Photosynthesis*, 109(2), 448–453. [https://doi.org/10.1016/0926-6585\(65\)90170-6](https://doi.org/10.1016/0926-6585(65)90170-6)
- Yu, X. Z., & Gu, J. D. (2007). Accumulation and distribution of trivalent chromium and effects on hybrid willow (*Salix matsudana* Koidz x *alba* L.) metabolism. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52(4), 503–511. <https://doi.org/10.1007/s00244-006-0155-7>

Estudio cinético y degradación del Triclosán y Triclocarbán en suelos agrícolas enmendados con compost

Kinetic study of Triclosan and Triclocarban degradation in agricultural soils amended with compost

Julio César Benítez-Villalba^{1,*}, Noemí Dorival-García², Nadia Mabel Villalba-Villalba¹, Francisco Paulo Ferreira-Benítez¹, Sergio Rodríguez-Bonet¹ & José Luis Vílchez²

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, Campus Universitario, San Lorenzo, Paraguay. *Email: julio81benitez@gmail.com.

²Grupo de Investigación de Química Analítica y Ciencias de la Vida, Departamento de Química Analítica, Campus de Fuente nueva, Universidad de Granada, E-18071 Granada, España.

Resumen: En este trabajo de investigación se realizó un estudio cinético, degradación de dos antimicrobianos en suelo y compost proveniente de lodos de depuradora y mezcla de ambas matrices. Se utilizó la técnica de extracción por ultrasonido (USE) para separar los analitos de las matrices involucradas y fueron detectados y cuantificados mediante Cromatografía de Líquidos de Ultra Presión (UPLC) acoplada a Espectrometría de Masas en Tándem (MS/MS, QqQ). El tratamiento consistió en añadir los contaminantes de forma manual y regar las parcelas con agua de pozo. Se fijaron dos condiciones diferentes Parcela 1 (P1) suelo con los contaminantes puros aplicados directamente al suelo, Parcela 2 (P2) suelo emendadas con compost y contaminada con Triclosán (TCS) y Triclocarbán (TCB). Se evaluó la cinética de degradación de la P1 y P2 a profundidades (2, 10, 20, 30, 60 cm) a lo largo del tiempo (0, 15 y 30 días), se observó que se ajustaron a una cinética exponencial de primer orden ($C=C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$). En la P1 el TCS era retenido y degradado en la superficie (2 cm) con un tiempo de vida media ($t_{1/2}$) 214.6 h, mientras que el TCB se detecta en los primeros 50 cm. En la P2 el TCS también desaparece por completo en esta zona (2 cm) con un ($t_{1/2}$) de 146.5 h y al igual que en la P2 el TCB lixivia hasta los 50 cm. Como conclusión general, se observa que los tiempos de vida media son mayores en las condiciones experimentales de la parcela P1. Desde el punto de vista medio ambiental el enmendado de los suelos agrícolas con compost es muy beneficioso porque aporta materia orgánica, hecho que favorece el crecimiento de microorganismos que provoca una aceleración en la biodegradación de los compuestos estudiados e impidiendo su lixiviación a mayores profundidades.

Palabras clave: Biodegradación, Matriz, Compost, Cromatografía, Suelo Agrícola.

Abstract: In this research work, a kinetic study was performed, degradation of two antimicrobials in soil and compost from sewage sludge and mixture of both matrices. Ultrasound extraction (USE) technique was used to separate the analytes from the matrices involved and were detected and quantified by Ultrapressure Liquid Chromatography (UPLC) coupled to Mass Spectrometry in Tandem (MS/MS, QqQ). The treatment consisted of adding the contaminants manually and irrigating the parcels with well water. Two different soil conditions were fixed: Parcel 1 (P1), soil with pure pollutants applied directly to soil, Plot 2 (P2), soil amended with compost and contaminated with Triclosan (TCS) and Triclocarban (TCB). The degradation kinetics was evaluated in P1 and P2 at different depths (2, 10, 20, 30, 60 cm) along time (0, 15 and 30 days) were observed to be adjusted to an exponential kinetics of first-order ($C=C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$). In P1 the TCS was retained and degraded on the surface (2 cm) with a half-life ($t_{1/2}$) 214.6 h, while the TCB was detected in the first 50 cm. In P2 the TCS also disappears completely in this area with a half-life ($t_{1/2}$) of 146.5 h and as in P2 the TCB leaches up to 50 cm. As a general conclusion, it is observed that half-life times are higher in the experimental conditions of the parcel P1. From the environmental point of view, the amendment of agricultural soils with compost is very beneficial because it provides organic matter, which favors the growth of microorganisms that causes an acceleration in the biodegradation of the studied compounds and preventing their leaching at greater depths.

Key words: Biodegradation, Matrix, Compost, Chromatography, Agricultural Soil.

Recibido: 12/04/2019 Aceptado: 13/06/2019

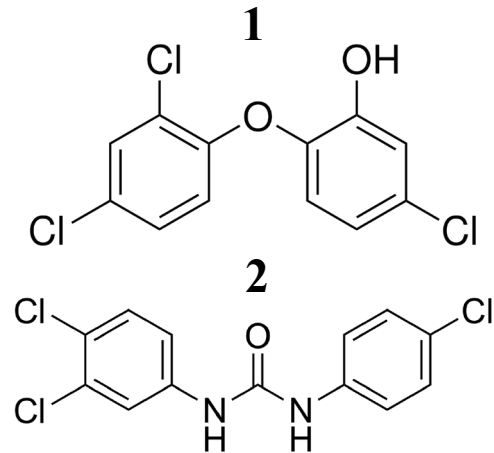


INTRODUCCIÓN

Una de las mejores alternativas, desde un punto de vista ambiental, para la eliminación de los lodos de depuradora EDARs urbanas es el reciclado a través de su uso en agricultura en el enmendado de suelos como abono, bien de forma directa (después de un tratamiento simple) o tras ser sometidos a un proceso adecuado de compostaje. Sin embargo, estos lodos, pueden representar una de las principales rutas por la que numerosos contaminantes orgánicos potencialmente peligrosos reingresan al medio ambiente (Benítez-Villalba *et al.*, 2017; Doughton & Ternes, 1999; Fent *et al.*, 2006; Jemba, 2006).

En este sentido, existen numerosos aspectos que requieren especial atención para que puedan ser aplicados con suficiente garantía. En primer lugar, es necesario conocer con exactitud la magnitud de su contaminación química, por la posible presencia de numerosas sustancias químicas de origen antropogénicas, así como la variabilidad espacial y temporal de su distribución. En segundo lugar, se desconocen las condiciones de operación óptimas para su eliminación total durante los procesos de compostaje y su evolución en los suelos agrícolas una vez enmendados con dicho material. En tercer lugar, se desconocen los diferentes mecanismos a través de los cuales pueden ser eliminados definitivamente, y las rutas posibles de reingreso y/o permanencia en el medio ambiente, y mucho menos los factores que pueden promover y/o estimular los procesos biológicos a nivel del suelo, que son los que al fin y al cabo pueden asegurar la eliminación definitiva de estas sustancias (Benítez-Villalba *et al.*, 2017; Petrovic *et al.*, 2005; Díaz-Cruz & Barceló, 2006; Temes & Joss, 2006).

En los últimos años se ha generado una nueva preocupación en relación a un grupo más extenso de compuestos orgánicos, los llamados “contaminantes emergentes”, de los que se conoce muy poco sobre su persistencia, evolución en aguas y en suelos agrícolas, su comportamiento durante los procesos de depurado de aguas residuales, mecanismos de degradación, transferencia a la cadena trófica, y efectos adversos sobre los ecosistemas y



Figuras 1-2. Estructura Química de los compuestos estudiados. 1) Triclosán (TCS). 2) Triclocarbán (TCB).

la salud humana. Esta evidencia justifica el temor de algunos países, con respecto al reciclado de los lodos de desecho en agricultura, especialmente a nivel de la industria alimentaria. El control de estas sustancias se ha ido desarrollando a medida que avanza el conocimiento científico sobre ellas (Kinney *et al.*, 2006).

Esta problemática muestra la necesidad de investigación científica, a nivel químico, biológico, microbiológico, toxicológico y ecológico, con objeto de completar la información ya existente en relación a los contaminantes orgánicos regulados, incluyendo los “contaminantes emergentes” (European Commission, 1996).

Los compuestos seleccionados para este estudio son el triclosán (Figura 1) y triclocarbán (Figura 2); el triclosán, 5-cloro-2-(2,4-dicloro-fenoxi) fenol, se utiliza desde hace más de 40 años como agente antimicrobiano en desodorantes, jabones, cremas y, especialmente, en productos de higiene dental. Es un antiséptico utilizado en productos hospitalarios y productos de consumo (colutorios, desodorantes, dentífricos). Su mecanismo de acción no es muy conocido, pero parece que difunde a través de la membrana citoplasma bacteriana e interfiere su metabolismo lipídico (Singer *et al.*, 2002; Jones 2000). En las dosis de uso normales actúa como bactericida, y en dosis menores tiene efecto bacteriostático (Veldhoen *et al.*, 2006; Vel-

dhoen *et al.*, 2007).

El triclocarbán, N-(4-clorofenil)-N'-(3,4-diclorofenil) urea, se usa desde 1957 como agente antimicrobiano en numerosos productos de cuidado personal, especialmente jabones, a niveles de hasta el 1.5 % (p/p) (Council of the European communities, 1976; Scientific committee on consumer products, 2005; TCB consortium, 2002; European Commission, 2011). Existen dudas sobre los posibles efectos negativos del TCS y TCB sobre la salud humana y animal. El estudio llevado a cabo por Veldhoen en 2006 concluye que una dosis reducida de TCS puede actuar como disruptores endocrinos en animales (Veldhoen *et al.*, 2006). El hallazgo hace sospechar que podría tener el mismo efecto en los seres humanos (Veldhoen *et al.*, 2007).

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio cinético y degradación de antimicrobianos en suelo agrícola P1 y suelo agrícola contaminado con compost procedente de lodos de depuradora P2. Utilizando la técnica de extracción por ultrasonido (USE) para extraer los analitos objetos de estudio de las matrices involucradas utilizando para su cuantificación la Cromatografía de Líquidos de Ultra Presión (UPLC) acoplada a Espectrometría de Masas en Tándem (MS/MS, QqQ).

MATERIALES Y MÉTODOS

Productos químicos y reactivos

Se utilizaron reactivos de grado analítico. Los patrones de Triclosán y Triclocarbán y el patrón interno Ácido Meclofenámico (AMC) fueron suministrados por la casa comercial Sigma-Aldrich (St. Louis, MO). Las soluciones de TCS y TCB (200 mg. mL⁻¹) se prepararon en metanol mensualmente y se almacenaban a -20 °C. Las soluciones estándar, mezclas de estos compuestos junto con el patrón interno se prepararon en metanol o en la fase móvil inmediatamente antes de su uso. Estos estándares se almacenaban a 4°C y se preparaban semanalmente. Todas las soluciones se almacenaron en botellas de vidrio oscuro. El agua y metanol que se utilizaron para la preparación de la fase móvil fueron de grado

LC-MS suministradas por Fluka (St. Louis, MO, EE.UU.). El amoníaco (> 25%), acetonitrilo, y acetato de etilo se adquirieron de Merck (Darmstadt, Alemania). El agua (18,2 MΩ cm) se purificó por un sistema Millipore Milli-Q (Bedford, MA, ESTADOS UNIDOS).

Instrumentación y software

Para la recolección de las muestras de compost se emplearon palas convencionales y para las muestras de suelos un muestreador de calado (superficiales) y una barrena helicoidal para mayores profundidades.

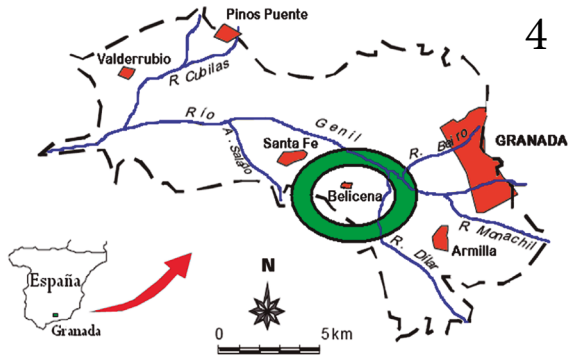
El trabajo experimental se desarrolló utilizando una sonda de ultrasonidos Digital Sonifier S450D (BRANSON). Un cromatógrafo Waters Acquity UPLC™ acoplado a espectrómetro de masas triple cuadrupolo Waters H-Class-Xevo TQS™. La separación de los compuestos se obtuvo con una columna ACQUITY UPLC BEH™ C₁₈ (1,7 μm; 2,1 mm × 50 mm) (Waters). Una fuente de ionización por electrospray Z-spray™ ESI para la detección de los analitos. El software utilizado para la detección e integración de los picos fue el MassLynx V.4.1 SCN.803 programa de gestión y tratamiento de los datos obtenidos por el cromatógrafo Waters Acquity UPLC™ H-Class - Xevo TQS™. Un Vortex (Yellow line, Wilmington, NC, USA), una centrifuga Hettich Zentrifugen, universal 32 (Tuttlingen, Alemania). Para el estudio cinético se utilizó un software Statgraphics Plus versión 5.0 (Manugistics, Rockville, MD, EE.UU., 2000). Paquetes Microsoft® Office: Word®, Excel® y PowerPoint® 2007.

Desarrollo Experimental

Estudio de campo (TCS y TCB)

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar el comportamiento de los analitos (TCS y TCB) en un determinado ambiente natural, donde los contaminantes pueden ser aportados por diferentes vías. En todos los experimentos llevados a cabo se hizo uso de la irrigación forzada.

Descripción de las Parcelas Experimentales



Figuras 3-4. Lugar de estudio. 3) Parcela experimental: Huerta de Santa María. 4) Zona de la Vega de Granada.

El estudio de campo se llevó a cabo en una parcela experimental (Figura 3) que está situada en la Huerta de Santa María en la Vega de Granada – España en el municipio de Belicena a 5 km de la capital y de coordenadas $37^{\circ} 11' 09.50''$ N; $3^{\circ} 41' 39.85''$ O (Figura 4). En el suelo agrícola no se ha utilizado ningún tipo de pesticida, herbicida o insecticida en los últimos 10 años con el objetivo de no alterar la microbiota del suelo (Kinney *et al.*, 2006).

Las muestras de compost fabricado a partir de lodos de depuradora que fueron utilizados para este ensayo, fueron recolectadas en la empresa compostadora “Biomasa del Guadalquivir” situada en Santa Fe (Granada). Se prepararon una serie de subparcelas de 4 m^2 ($2 \times 2 \text{ m}$) para cada ensayo separadas por tasquibas de 30 centímetros de espesor. Se procedió a la limpieza de la vegetación existente para evitar posibles interferencias en los mecanismos de adsorción-desorción, la degradación de los compuestos en estudio, o la interferencia sobre alguna variable general como

el índice de evaporación del agua. Se fijaron dos condiciones diferentes, Parcela 1 (P1) contaminantes puros aplicados directamente al suelo. Parcela 2 (P2) enmendada con compost y contaminada con TCS y TCB.

La contaminación tanto de la parcela compostada como de la no compostada se realizó adicionando 1 g.L^{-1} de cada compuesto en un volumen de 120 litros de agua de pozo. Una vez dopada, durante todo el periodo de experimentación se llevaron a cabo sucesivamente dos operaciones, una de muestreo y otra de riego. La toma de muestra se realizó a siete profundidades (superficie, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 centímetros) a lo largo del tiempo (0, 15 y 30 días). Durante la primera semana la toma de muestra fue diaria, ya que estudios previos realizados habían demostrado que durante este espacio de tiempo se producía la caída exponencial de la concentración, aportando información de gran importancia sobre el comportamiento del compuesto.

Tratamiento de la muestra

Cada una de las muestras tomadas se sometió a las siguientes etapas para asegurar su correcto análisis en el laboratorio. Adición de formaldehído 1 % (m/v), para evitar el crecimiento microbiano en las muestras. Secado y tratamiento de las muestras, en bandejas de plástico y al sol a temperatura ambiente. Una vez secas se molturaron con un mortero de hierro y se tamizaron con ayuda de una malla de 2 mm. Posteriormente se introdujeron en

Tabla 1. Parámetros óptimos del análisis mediante USE.

Peso de la muestra	0.5 g
Disolvente de extracción	Metanol
Volumen de disolvente	15 mL
Tiempo de ultrasonidos	25 minutos
Ciclos de extracción	1
Potencia de ultrasonido	75%
Tiempo de centrifugado	30 min a 5000 r.p.m.(3634 xg)
Evaporación	Bajo corriente de N_2
Volumen de redisolución	1 mL

Tabla 2. Valores óptimos de las condiciones cromatográficas.

Fase estacionaria	ACQUITY UPLC® BEH C18 (2.1 x 100 mm) 1.7µm		
Fase móvil	A: Agua (0.025 % amoniaco) B: Metanol (0.025 % amoniaco)		
	Tiempo (min)	A %	B %
Modalidad: Gradiente	0.0	40	60
	6.0	0	100
	6.5	0	100
	6.6	40	60
	10.0	40	60
Flujo	0.3 mL min ⁻¹		
Volumen de inyección	4 µL		
Temperatura del horno	40°C		
Detección	ESI-MS/MS		

una bolsa de plástico y se llevaron al laboratorio donde permanecieron a una temperatura de 4°C hasta su análisis. Una vez en el laboratorio, las muestras de suelo fueron analizadas. Para este ensayo se realizaron en total 12 tomas de muestra a diferentes tiempos.

La técnica de extracción seleccionada para la extracción de los analitos fue la técnica de ultrasonidos por su mayor simplicidad y menor coste. Las variables utilizadas para la extracción de las muestras dopadas con los compuestos (100 µg g⁻¹) se pueden observar en la Tabla 1, las condiciones utilizadas.

Tabla 3. Parámetros del espectrómetro de masas para el TCS y TCB. CV: Voltaje del cono; CE: Energía de colisión.

Analito	Transición	CV / CE	Transición	CV / CE	Modo
TCS	287.0 → 141.8	22/32	287.0 → 160.8	22/40	ESI(-)
TCB	313.1 → 150.9	2/14	313.1 → 126.2	2/14	ESI(-)
AMC	294.2 → 258.0	2/16	294.2 → 213.9	2/20	ESI(-)

Análisis mediante UPLC-MS/MS

La determinación y cuantificación de la cantidad de los compuestos degradados se realizó mediante la técnica de UPLC-MS/MS, empleando las condiciones descritas en la Tabla 2. Se muestran los parámetros optimizados para la separación cromatográfica y la detección mediante espectrometría de masas. Una vez optimizadas estas variables se seleccionaron las dos transiciones en el espectrómetro (cuantificación e identificación) óptimas para la determinación de cada molécula. En la Tabla 3 se muestran las transiciones seleccionadas.

RESULTADOS

Determinación de la concentración del analito Parcela 1

En las Tablas 4 y 5 se muestran las concentraciones de cada analito en las muestras de suelo contaminadas.

Cinéticas de Desaparición de los Compuestos en el Suelo (Parcela 1)

La variación de las concentraciones de todos los contaminantes estudiados en el suelo agrícola contaminado, a las distintas profundidades, como consecuencia de los procesos adsorción-desorción, transporte y degradación, permite deducir que el proceso de desaparición de los compuestos, en cada uno de los puntos de toma de muestra, sigue una cinética de primer orden. Este modelo se rige por la siguiente ecuación $C = C_0 \cdot e^{-kt}$, donde, C representa la concentración de analito (µg kg suelo⁻¹) a un tiempo determinado t (min), C₀ es la concentración inicial del analito (µg kg suelo⁻¹) y

Tabla 4. Concentraciones de TCS y TCB en el tratamiento en la parcela 1. **4)** Concentraciones de TCS. **5)** Concentraciones de TCB.

4

Concentración de TCS ($\mu\text{g kg suelo}^{-1}$)						
Muestra	Toma 1 5 h	Toma 2 29 h	Toma 3 53 h	Toma 4 77 h	Toma 5 125 h	Toma 6 173.5 h
2 cm (sup)	16.6	12.2	11.8	10.8	9.7	8.7
Muestra	Toma 7 245 h	Toma 8 341 h	Toma 9 405.5 h	Toma 10 505.5 h	Toma 11 673.5 h	Toma 12 845.5 h
2 cm (sup)	6.7	5.4	4.4	3.0	1.3	1.0

5

Concentración de TCB ($\mu\text{g kg suelo}^{-1}$)						
Muestra	Toma 1 5 h	Toma 2 29 h	Toma 3 53 h	Toma 4 77 h	Toma 5 125 h	Toma 6 173.5 h
2 cm (sup)	2.6	2.1	1.6	0.9	0.6	0.4
10 cm	5.9	4.1	3.8	2.7	1.2	0.9
20 cm	3.2	2.3	1.7	1.2	0.9	0.8
30 cm	44.7	44.5	40.1	32.1	27.5	24.2
40 cm	1.2	1.1	0.9	0.7	0.7	0.6
50 cm	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6
Muestra	Toma 7 245 h	Toma 8 341 h	Toma 9 405.5 h	Toma 10 505.5 h	Toma 11 673.5 h	Toma 12 845.5 h
2 cm (sup)	0.2	0.1	0.1	0.08		
10 cm	0.7	0.6	0.5	0.52	0.19	
20 cm	0.6	0.5	0.5	0.42	0.40	0.26
30 cm	17.6	16.5	13.9	12.74	11.10	10.16
40 cm	0.4	0.4	0.4	0.38	0.29	0.19
50 cm	0.5	0.5	0.4	0.34	0.34	

k es una constante cinética (h^{-1}) (Figuras 5 y 6).

Los datos mostrados en las figuras, se ajustan, en todos los casos, a la ecuación exponencial de primer orden anteriormente citada ($C = C_0 \cdot e^{-kt}$). A partir de los datos, se obtuvieron los correspondientes valores de la constante de desaparición del compuesto (k), el tiempo de vida media en cada zona del suelo ($t_{1/2}$) y coeficiente de determinación (R^2) (Tablas 6 y 7).

Al igual que en otros casos, el TCS se adsorbe y

k (h^{-1})	$3.2 \cdot 10^{-3}$
C_0	14.8
$t_{1/2}$	214.6
$\%R^2$	97.2

Tabla 6. Parámetros del ajuste para el TCS en superficie.

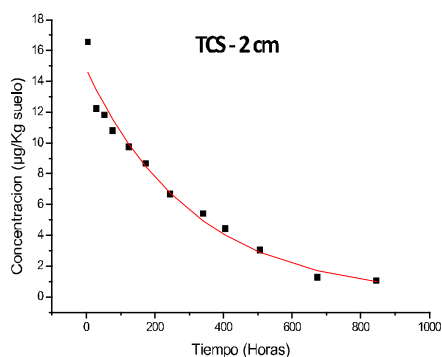


Figura 5. Cinética de desaparición del TCS en la superficie (2 cm).

desaparece en la superficie no lixiviando a mayores profundidades. La degradación del TCS en el suelo fue relativamente rápida con los tiempos de vida media 214.6 h.

Por último, el TCB se detecta en los primeros 50 cm, no lixiviando a la mayor profundidad de 60 cm. La desaparición del compuesto fue rápida con tiempos de vida media comprendidos entre las 57.6 h en la capa superficial a las 333.2 h a los 50 cm de profundidad.

Además, y como era de esperar, debido a los fenómenos de degradación y lixiviación principalmente, al establecer la relación entre las constantes obtenidas, se constata que la velocidad de desapa-

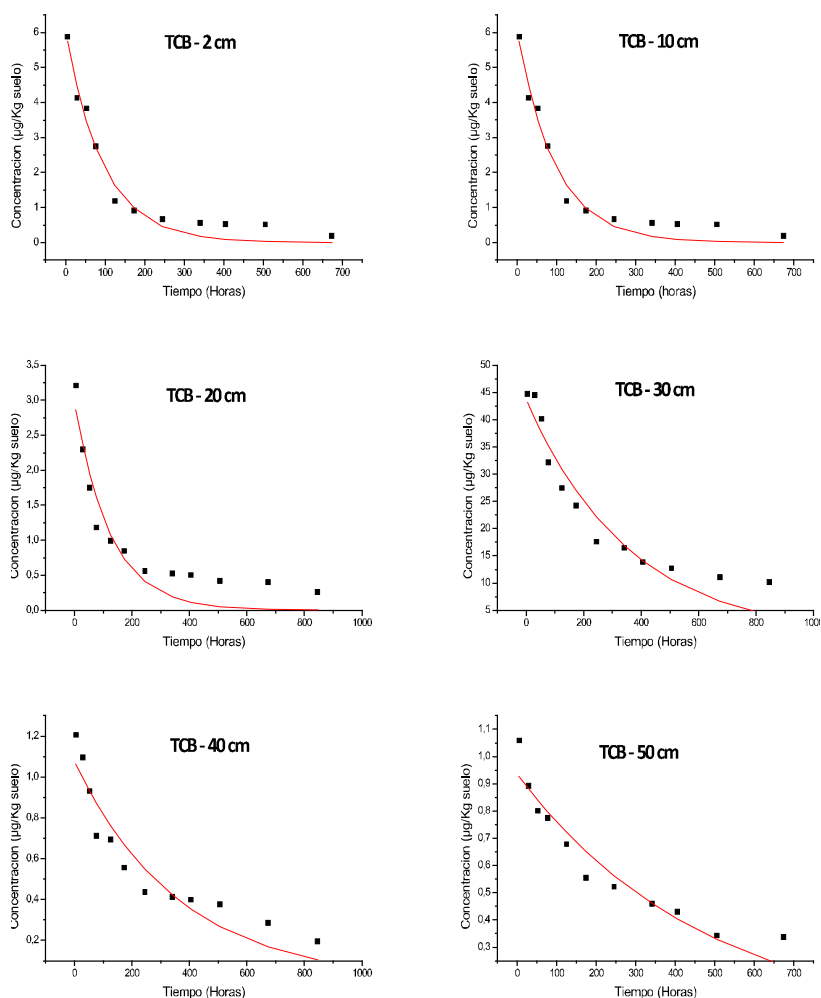


Figura 6. Cinética de desaparición del TCB a diferentes profundidades.

Tabla 7. Parámetros del ajuste TCB a distintas profundidades.

	Superficie	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
k (h⁻¹)	1.2·10 ⁻²	1.0·10 ⁻²	8.1·10 ⁻³	2.8·10 ⁻³	2.7·10 ⁻³	2.1·10 ⁻³
C₀	2.8	6.1	2.9	43.8	1.1	0.9
t_{1/2}	57.6	66.2	85.8	247.5	252.0	333.2
%R²	98.9	96.9	88.9	92.8	89.5	91.9

rición del compuesto es mayor cuanto más cerca de la superficie se encuentra el analito, de forma que $k_{sup} > k_{10\text{ cm}} > k_{20\text{ cm}} > k_{30\text{ cm}} > k_{40\text{ cm}}$. La explicación radica en que parte del compuesto se degrada y otra

Tablas 8-9. Concentración de TCS y TCB en el tratamiento en la parcela 2. **8)** Concentración de TCS. **9)** Concentración de TCB.**8**

Concentración de TCS (µg kg suelo ⁻¹)						
Muestra	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6
	5 h	29 h	53 h	77 h	125 h	173.5 h
2 cm (sup)	24.6	19.8	16.7	11.3	9.5	8.7
Muestra	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12
	245 h	341 h	405.5 h	505.5 h	673.5 h	845.5 h
2 cm (sup)	6.3	5.8	3.8	0.9	0.4	

9

Concentración de TCB (µg kg suelo ⁻¹)						
	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6
	5 h	29 h	53 h	77 h	125 h	173.5 h
2 cm (sup)	1.8	1.4	0.9	0.7	0.6	0.6
10 cm	3.0	2.2	1.9	1.2	0.8	0.8
20 cm	4.6	4.4	3.7	2.7	1.9	1.3
30 cm	0.9	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4
40 cm	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
	Toma 7	Toma 8	Toma 9	Toma 10	Toma 11	Toma 12
	245 h	341 h	405.5 h	505.5 h	673.5 h	845.5 h
2 cm (sup)	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	
10 cm	0.8	0.5	0.4	0.3	0.1	0.1
20 cm	1.1	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3
30 cm	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
40 cm	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1

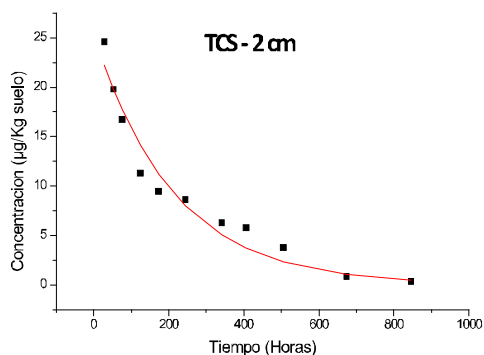


Figura 7. Cinética de desaparición del TCS en superficie (2 cm).

parte migra por arrastre con el agua hacia puntos inferiores tras cada uno de los regados.

Determinación de la concentración del analito Parcela 2

Finalizado el estudio en la parcela 1 (suelo con los analitos puros), se repitió el proceso de la misma forma, pero en este caso empleando una parcela que previamente había sido enmendada con compost procedente de lodo de depuradora (parcela 2) tal y como se describió con anterioridad. En las Tablas 8 y 9 se muestran los datos de concentración obtenidos en los análisis de las diferentes muestras tomadas a las distintas profundidades.

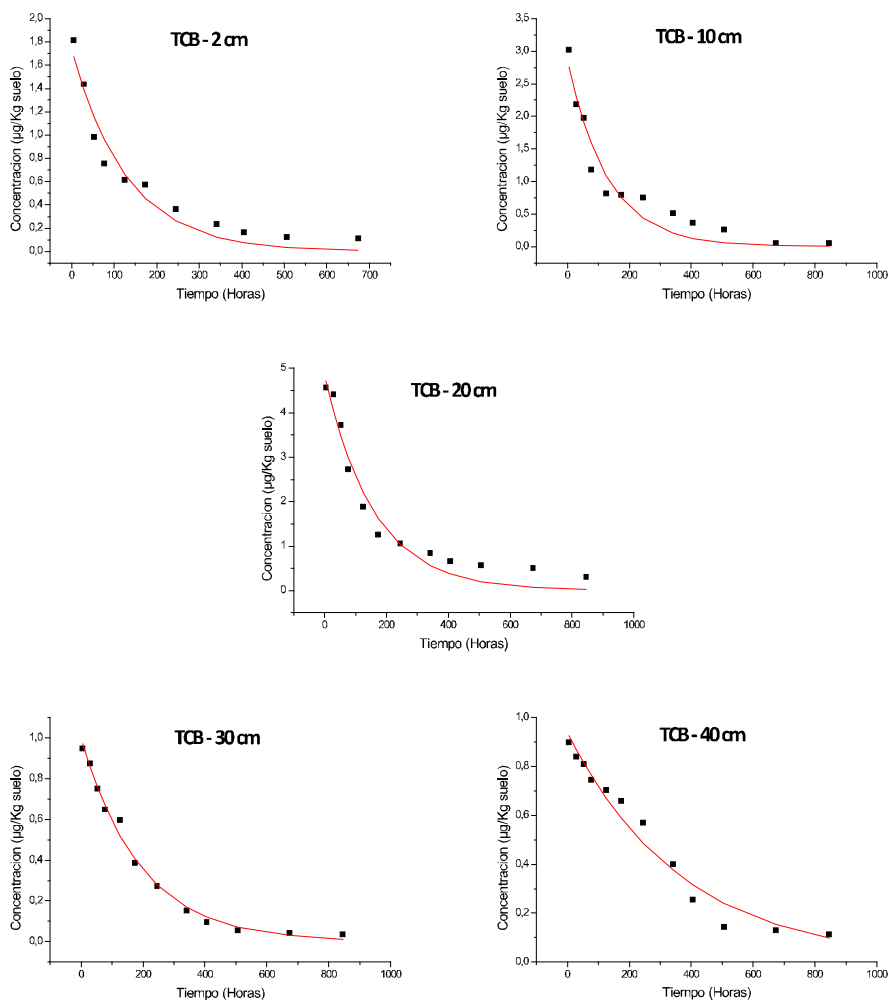


Figura 8. Cinética de desaparición de la TCB a las diferentes profundidades.

Tabla 10. Parámetros del ajuste para el TCS en superficie.

k (h⁻¹)	4.7·10 ⁻³	t_{1/2}	146.5
C₀	25.4	%R²	95.7

Los resultados mostrados en las tablas demuestran que al igual que en el caso del estudio realizado en la primera parcela, el TCS es retenido en la superficie (2 cm), degradándose completamente en este punto. Por último, el TCB, aparece hasta profundidades de hasta 40 cm.

Cinéticas de Degradación de los Compuestos en Suelos Enmendados con Compost (Parcela 2)

Al igual que en el caso del primer experimento llevado a cabo en la parcela 1, la observación de la variación de las concentraciones con el tiempo, a las distintas profundidades, permite vaticinar una cinética de primer orden para todos casos estudiados ($C = C_0 \cdot e^{-kt}$) (Figuras 7 y 8).

A continuación, partiendo de los datos de concentración obtenidos para cada profundidad, se obtuvieron los parámetros correspondientes de la ecuación exponencial de primer orden $C = C_0 \cdot e^{-kt}$, es decir, los valores de la constante de desaparición del compuesto (k), el tiempo de vida medio ($t_{1/2}$) y el coeficiente de determinación (R^2). Las Tablas 10 y 11 muestran los valores obtenidos.

En todos los casos, el comportamiento es similar al observado en la parcela 1, aunque con ciertas diferencias que desarrollaremos a continuación.

Comparación del Comportamiento de los Contaminantes en Suelo y en Suelo Enmendado con Compost

Durante este estudio comparativo de la cinética de

Tabla 12. Comparación del comportamiento del TCS y TCB en el suelo y suelo enmendado con compost.

Profundidades	t_{1/2}	
	TCS	TCB
2 cm (sup)	P 1 > P 2	P 1 > P 2
10 cm		P 1 > P 2
20 cm		P 1 > P 2
30 cm		P 1 > P 2
40 cm		P 1 > P 2
50 cm		P 1 > P 2
60 cm		P 1 > P 2

degradación de estos compuestos en suelos y suelos enmendados con compost se demuestra que, los analitos estudiados en las diferentes condiciones, tienen un comportamiento similar, ajustándose en todos los casos a una cinética de primer orden. En la Tabla 12 se comparan los tiempos de vida media de cada uno de los compuestos estudiados a las distintas profundidades, en ambos estudios.

Los resultados de este trabajo muestran como el tiempo de vida media de los dos analitos es superior para las condiciones de la parcela P1 (suelo con los contaminantes puros aplicados directamente al suelo). En el caso del TCS, se puede observar que sólo se absorbe y degrada en la superficie en ambas condiciones, mostrando que el tiempo de vida media es mayor en las condiciones de la P1. Finalmente, en el caso del TCB, se aprecia que el compuesto aparece hasta la máxima profundidad estudiada (60 cm), pudiendo incluso lixiviar a ma-

Tabla 11. Parámetros del para el TCB a distintas profundidades.

	Superficie	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
k (h⁻¹)	7.7·10 ⁻³	7.7·10 ⁻³	6.3·10 ⁻³	5.2·10 ⁻³	2.7·10 ⁻³	2.3·10 ⁻³
C₀	1.7	2.9	4.9	0.9	0.9	52.4
t_{1/2}	89.7	89.9	109.8	133.3	257.7	297.5
%R²	95.0	93.4	96.0	99.2	96.9	95.5

yores profundidades. En todos los casos el tiempo de vida media fue mayor bajo las condiciones de la parcela P1.

DISCUSIÓN

La fertilidad de los suelos agrícolas está íntimamente ligada a su microbiota particular y a las relaciones que existen entre los grupos microbianos involucrados en los ciclos de los nutrientes, los cuales son esenciales para el funcionamiento y la evolución normales del suelo (Paul *et al.*, 2006).

En este sentido resulta muy aprovechable el uso de compost en los suelos agrícolas ya que produce un incremento de los microorganismos que son beneficiosos para los cultivos (Bigeriego Martín de Saavedra *et al.*, 2000). Es sabido que un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutritivos disponibles para las plantas o bien una población microbiana capaz de aportar nutrientes que permitan un buen desarrollo de los vegetales (Beltrán *et al.*, 2006).

El compost aporta al suelo materias orgánicas y en general nutrientes que proporciona mejoras al suelo agrícola dado que favorece simultáneamente el desarrollo de la comunidad bacteriana del suelo (Alvarez *et al.*, 1997). La microbiota del suelo es la responsable de la descomposición de la materia orgánica, la producción de humus, fijación del nitrógeno atmosférico, solubilización de nutrientes esenciales como el fósforo, control biológico de plagas y enfermedades, descomposición de xenobióticos y otros (Moreira & Siqueira, 2002).

Por todo lo dicho anteriormente podemos decir que en este trabajo de investigación podemos observar como un enriquecimiento de materia orgánica a la parcela P2 con compost acelera el tiempo de vida media produciendo un crecimiento de la microbiota del suelo que hace que en la presencia de estos compuestos químicos lo utilicen como fuente de carbono y energía. Por lo tanto, dicha microbiota podrían ser utilizados como biorremediación en algunos ambientes contaminados.

CONCLUSIÓN:

Como conclusión general, se observa que, en la

mayoría de los compuestos, los tiempos de vida media son mayores en las condiciones experimentales de la parcela P1. Desde el punto de vista medio ambiental el enmendado de los suelos agrícolas con compost es muy beneficioso porque aporta materia orgánica, hecho que favorece el crecimiento de microorganismos que provoca el fenómeno de la biodegradación de estos contaminantes emergentes que en dosis reducida pueden actuar como disruptores endocrinos en animales e incluso seres humanos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, C., Alvarez, R., Grigera, M. & Lavado, R. (1997). Associations between organic matter fractions and the active soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 767-773.
- Beltrán, E.M., Miralles de Imperial, R., Porcel, M.A., Beringola, M.L., Martín, J.V., Calvo, R. & Delgado, M.M. (2006). Impact of sewage sludge compost utilization on chemical properties of olive grove soils. *Compost science and utilization*, 14: 260-266.
- Benítez-Villalba, J.C., Zafra Gómez, A., Juárez-Giménez, M.J.B., Dorival García, N., Ferreira-Benítez F. P., Rodríguez-Bonet, S. & Vilchez, J.L. (2017). Biodegradation of thebenzophenone-3 in agricultural soils amended with compost from urban wastewater treatment plants. *Reportes Científicos de la FACEN*, 8(1): 79-88.
- Bigeriego Martín de Saavedra, M., Bellido de Lestable, N., Miralles de Imperial, R., Porcel, M.A., Delgado, M.M., García, J. & Beltrán, E.M. (2000). Empleo de compost de depuradora como fertilizante en cultivo de maíz. *Vida rural*, 109: 24-26.
- Council of the European communities. (1976). *Directive 76/768/EEC of 27 July 1976: on the approximation of the laws of the Member States relating to cosmetic products.*
- Díaz-Cruz, M.S. & Barceló, D. (2006). Determination of antimicrobial residues and metabolites in the aquatic environment by liquid chromatography tandem mass spectrometry.

- Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 386: 973-985.
- Doughton, C.G. & Ternes, T.A. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the Environment: Agents of subtle change. *Environmental Health Perspectives*; 107: 907-938.
- European Commission (2011). *Joint research centre, Institute for Health and Consumer Protection*. <http://esis.jrc.ec.europa.eu/>.
- European Commission. (1996). European workshop on the impact of endocrine disruptors on human health and wildlife. *Report Eur 17549, Environment and Climate Research Programme, DG XII. Weybridge*, 1: 1-125.
- Fent, K., Weston, A.A. & Caminada, D. (2006). Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology*, 76: 122-159.
- Jemba, P.K. (2006). Excretion and ecotoxicity of pharmaceutical and personal care products in the environment. *Ecotoxicology and Environment*, 63: 113-130.
- Jones, R., Jampani, H.B., Newman, J.L. & Lee, A.S. (2000). TCS: A review of effectiveness and safety in health care settings. *American Journal of Infection Control*, 28: 184-196.
- Kinney, C. A., Furlong, E. T., Zaugg, S. D., Burkhardt, M. R., Werner, S. L., Cahill, J. D. & Jorgensen, G. R. (2006). Survey of organic wastewater contaminants in biosolids destined for land application. *Environmental Science and Technology*, 40: 7207-7215.
- Moreira, F., Siquiera, J. (2002). Xenobióticos no solo. Pp 243-284 In: Moreira, F., Siquiera, J. O. (eds). *Microbiología e bioquímica do Solo*. Lavras: UFLA.
- Paul, D., Pandey, G., Meier, C., Van de Meer, J.R. & Jain, R.K. (2006). Bacterial community structure of a pesticide-contaminated site and assessment of changes induced in community structure during bioremediation. *FEMS Microbiology Ecology*, 57: 116-127.
- Petrovic, M., Hernando, M.D., Díaz-Cruz, M.S. & Barceló, D. (2005). Liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the analysis of pharmaceutical residues in environmental samples: A Review. *Journal of Chromatography A*, 1067: 1-14.
- Scientific committee on consumer products (2005). Opinion on triclocarban for other uses than as a preservative: 101-202.
- Singer, H., Muller, S., Tixier, C. & Pillonel L. (2002). TCS: occurrence and fate of a widely used biocide in the aquatic environment: field measurements in wastewater treatment plants, surface waters, and lake sediments. *Environmental Science and Technology*, 36: 4998-5004.
- TCB consortium (2002). High production volume (HPV) chemical challenge program data availability and screening level assessment for TCB. Report 201-14186A.
- Temes, T. & Joss, A. (2006). Human pharmaceuticals, hormones and fragrances: the micropollutant challenge for urban water management. *Water*, 21: 121-148.
- Veldhoen, N., Skirrow R.C., Osachoff, H., Wigmore, H., Clapson, D.J., Gunderson, M.P., Van Aggelen, G. & Helbing, C.C. (2006). The bactericidal agent TCS modulates thyroid hormone-associated gene expression and disrupts postembryonic anuran development. *Aquatic Toxicology*, 80: 217-227.
- Veldhoen, N., Skirrow R.C., Osachoff, H., Wigmore, H., Clapson, D.J., Gunderson, M.P., Van Aggelen, G. & Helbing, C.C. (2007). Corrigendum to "The bactericidal agent TCS modulates thyroid hormone-associated gene expression and disrupts postembryonic anuran development". *Aquatic Toxicology*, 83: 648-651.

Impacto de la especialización de aprendizajes basado en redes y liderazgo pedagógico sobre el nivel de desempeño de docentes de la educación media

Impact of specialization of learning based on networks and educational leadership on the level of performance of education teachers of middle education

Carlos Gonzalez¹, Rolando Alvarez² & Violeta Rolón³

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. E-mail: cgonzalez@facen.una.py

²Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. E-mail: sralvarezdagogliano@gmail.com

³Facultad de Filosofía, Universidad Nacional de Asunción, Asunción, Paraguay. E-mail: viorolon@gmail.com

Resumen: En este trabajo se presenta la evaluación del Impacto de la especialización de Aprendizajes basados en redes y liderazgo pedagógico en la formación pedagógica de docentes de la educación media, titulación ofrecida por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción (FACEN-UNA) enmarcado en el Programa de Capacitación de los Educadores (PROCEMA). Los instrumentos utilizados han sido tanto cualitativos como cuantitativos; esto es, documentos, registros de archivos, observación directa, encuesta. Se trabajó con una muestra de 90%, es decir 270 docentes, y 100 directores, en el periodo comprendido entre julio y agosto de 2018. Se concluye que al inicio del curso una mínima cantidad de participantes contaba con alguna preparación en el ámbito de diseño, desarrollo e implementación de metodologías y técnicas enfocadas en la innovación pedagógica, pero expresan que la gestión exitosa pedagógica en las instituciones depende del liderazgo directivo y/o de colegas dentro de la institución.

Palabras clave: Impacto - aprendizaje - liderazgo – redes

Abstract: This paper presents the evaluation of the Impact of the specialization of Network-based Learning and pedagogical leadership in the pedagogical training of teachers in secondary education, a degree offered by the Faculty of Exact and Natural Sciences of the National University of Asunción (FACEN-UNA) framed in the Educator Training Program (PROCEMA). The instruments used have been both qualitative and quantitative; that is, documents, records of files, direct observation, survey. We worked with a sample of 90%, that is 270 teachers, and 100 directors, in the period between July and August 2018. It is concluded that at the beginning of the course a minimum number of participants had some preparation in the field of design, development and implementation of methodologies and techniques focused on pedagogical innovation, but express that the successful pedagogical management in the institutions depends on the leadership leadership and / or colleagues within the institution.

Key words: Impact – learning – leadership – networks

INTRODUCCIÓN

Evaluar el impacto de un programa académico es importante porque se necesita evidencia empírica acerca de si lo aprendido ejerce influencia en el nivel de desempeño de los docentes, obtiene pruebas sobre si hubo cambios y la importancia de estos cambios para la población que fue capacitada. Este trabajo considera ¿En qué medida la especialización de aprendizajes basado en redes y liderazgo pedagógico impactó sobre el nivel de desempeño de los docentes de la educación media?

El Programa de Capacitación de los Educado-

res para el mejoramiento de los aprendizajes de niños, niñas, jóvenes y adultos a nivel nacional, PROCEMA, constituye un conjunto de políticas que impulsan y favorecen el desarrollo académico de los docentes de nivel medio y otros niveles de la educación paraguaya.

En una investigación realizada por González & Alonso (2017) se presentó una metodología para evaluar en qué magnitud y con qué profundidad se han producido cambios en el comportamiento inicial de los estudiantes al estado deseado, que debe expresarse como impacto en términos de su

Recibido: 13/4/2018 Aceptado: 18/6/2019



desempeño profesional pedagógico de los docentes; dicho informe sirvió de referencia a lo presentado en este texto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo es evaluativo; según Escudero (2016) la investigación evaluativa se ha convertido en las últimas décadas en un enfoque muy importante de la actividad investigadora en todos los ámbitos científicos y de manera especial en ámbitos relacionados con los programas y políticas sociales, por ser un instrumento estratégico para la toma de decisiones sobre una continuidad y transformación en el ámbito científico.

Los datos recolectados fueron proporcionados por los docentes en formación, es decir, estudiantes de la especialización, que constituyen la unidad de análisis en este estudio. Dichos estudiantes son 303, población total, además de ellos fueron incluidos en el estudio los directivos de las instituciones de nivel medio de gestión pública de Asunción y San Lorenzo, así como de Instituciones con similares características de diversas localidades de los Departamentos de Cordillera y Paraguarí. Para la muestra fueron tomadas 300 personas en total, de ellas el 90 % son docentes y el 10 % directivos.

El enfoque cualitativo se aplicó utilizando la observación, se analizó la realidad en su contexto natural y cómo sucede, se identificaron e interpretaron los fenómenos, con una inmersión inicial en el campo, y en una segunda etapa se recolectaron los datos para el análisis. La recolección de la información fue realizada simultáneamente en 11 aulas habilitadas y distribuidas de la siguiente forma, 5 en la sede de la FACEN en el Campus Universitario de la Ciudad de San Lorenzo, 3 en la ciudad de Caacupé, departamento de Cordillera y 3 más en la ciudad de Paraguarí, capital del Departamento homónimo, abarcando de esta manera la distribución geográfica del universo.

Asimismo, se realizó la revisión de documentos escritos, las calificaciones de las pruebas, los reglamentos y el diagnóstico de ingreso, como base del trabajo. Los resultados fueron resumidos y clasificados según las variables estudiadas. Para el análisis

de los datos se utilizó lo recomendado por Miles y Huberman (1994), creándose una lista inicial de categorías a estudiar. La lista fue elaborada antes del trabajo de campo, lo mismo que la revisión del marco conceptual y las preguntas de investigación.

Para el enfoque cuantitativo se utilizaron las herramientas ofrecidas por la plataforma Google Form, las encuestas fueron recopiladas y procesadas en las hojas de cálculo, la misma herramienta fue utilizada para la elaboración de los gráficos.

RESULTADOS

Según Feixas *et al.*, (2015), cuando se habla de desarrollo docente, el enfoque se localiza en el estímulo y en la mejora de las competencias necesarias para actuar específicamente como enseñantes. El impacto que se busca identificar en los maestros después de una capacitación y a partir de las acciones de formación, es una mejora en la labor docente, para ello la evaluación del impacto debe realizar una comparación entre la situación anterior a la implementación del programa de mejora y la situación posterior a la misma, en la espera de que hayan habido mejoras en la praxis docente.

En cuánto al objetivo de reconocer cuál fue la línea de base de ingreso de los participantes, docentes en formación se trabajó con indagar acerca de sus saberes previos, necesidades, expectativas y proposiciones, entre otros aspectos relevantes al momento de dar inicio a la especialización como programa de formación. Se realizaron conversatorios sobre generalidades acerca del módulo, las temáticas y conceptualizaciones centrales a ser abordadas, a cargo de los docentes formadores y docentes acompañantes; se elaboraron mentefactos - mapas conceptuales - individualmente, con apoyo de pequeños grupos. Se confeccionó uno en el cual expresaron de forma gráfica los conceptos y demás implicaciones avizorados durante el proceso de formación. En este mentefacto, los docentes en formación expresaron su comprensión previa de las temáticas y sus antecedentes. El mentefacto construido fue alzado en el aula virtual en la cual se brindó revisión y retroalimentación por parte de los docentes acompañantes internacionales, y se

complementaron la conceptualización y se brindaron aclaraciones y orientaciones.

Los resultados del diagnóstico de las competencias de entrada fueron los siguientes:

Una mínima cantidad de participantes contaba con alguna preparación en el ámbito de diseño, desarrollo e implementación de metodologías y técnicas enfocadas en la innovación pedagógica. Además, la mayoría ha manifestado que la implementación de proyectos innovadores se ve coartado por la excesiva carga burocrática de los trámites administrativo-académicos exigidos por la dirección escolar y por las supervisiones de zonas.

La mayoría de los encuestados ha reconocido la importancia de la atención a la diversidad en el aula, pero a su vez han manifestado no contar con los procedimientos suficientes y los recursos para su debido soporte en los procesos pedagógicos.

Una amplia mayoría reconoció que fomentar la investigación para desarrollar el análisis y la comprensión, requiere formación y entrenamiento del docente; además, han señalado que muchas veces el acceso a las fuentes para la consulta de la investigación se ve limitada por la falta de capacitación y de condiciones, tal como acceso a Internet.

Una cuarta parte de los participantes, docentes en formación, ha manifestado la importancia del establecimiento de redes de aprendizaje; sin embargo, una gran mayoría reconoció que al interior de sus instituciones no existen condiciones administrativas para el desarrollo de redes y que la comunicación consecuente a generar estos espacios se ve afectada por la no priorización y la falta de un liderazgo distribuido dentro de las instituciones educativas de las cuales provienen.

No obstante, 25% de los participantes ha manifestado contar con equipos de trabajo constituidos dentro de los centros escolares pero que, en gran medida, la gestión exitosa de los mismos depende del liderazgo directivo y/o de colegas dentro de la institución.

Solo una minoría de los consultados cuenta con las suficientes habilidades digitales que le permiten sacar provecho y uso adecuado de la tecnología en los procesos en el aula. En la gran mayoría se

observa una brecha digital, no solo de uso, sino también de condiciones de acceso a los dispositivos terminales y a la conectividad. Por ende, la mayoría no sabe o no emplea tecnología en procesos pedagógicos, aunque posea conectividad o esté en tenencia del equipo informático, y mucho menos aplica gestión académica.

En una investigación realizada por Area Moreira (2010), se menciona que, en educación superior, la mayoría no cuenta con los conocimientos y destrezas para el uso de plataformas interactivas como las bibliotecas digitales, repositorios informáticos de revistas científicas y criterios de referenciación a las habilidades informacionales de acceso, búsqueda y selección de la información, característica que pudo ser comprobada en los docentes que participaron del programa.

En cuán al objetivo de indagar sobre la importancia dada por los participantes a la especialización, todos los docentes en formación han reconocido la importancia de la generación de nuevos conocimientos a través de la investigación pero, a su vez, han manifestado la necesidad de contar con una mayor formación en ámbitos relacionados con el manejo de instrumentos tecnológicos aplicados a la investigación, como paquetes estadísticos y aplicación de métodos cuantitativos.

Según De Lella (1999) se entiende por formación, el proceso permanente de adquisición, estructuración y reestructuración de conductas (conocimientos, habilidades, valores) para el desempeño de una determinada función; en este caso, la tarea docente.

El método cuantitativo busca verificar la relación de causalidad entre la acción de formación y sus impactos. Al efecto, utiliza la información contenida en los objetivos del programa y, con base en la información recolectada, establece el grado en que los objetivos se alcanzaron, mediante un indicador (Billorou *et al.*, 2011).

Según Billorou *et al.*, (2011) al hablar de la evaluación del impacto es necesario destacar:

La relación de causalidad: se trata de conocer los cambios que se producen tras un programa o política específica.

Tabla 1. Impactos de la especialización sobre el desempeño del docente.

Desarrollo del liderazgo	44,1 %
Mejora en la labor diaria	24,5 %
Dominio de la tecnología	19,6 %
Desarrollo de la creatividad	6,9%
Desarrollo de la tolerancia	2,9%
Técnicas para el proceso enseñanza aprendizaje	1%
Conocimiento de la educación inclusiva	1%

La variedad de impactos: económicos, técnicos, socio culturales, pueden ser previstos (definidos en los objetivos de la actuación a evaluar) o no previstos.

Los distintos impactos: en las personas, las empresas y en la sociedad

Por lo mismo las variables medidas han sido, el impacto del curso en las personas y en la organización, considerando el objetivo del curso y las dimensiones pedagógicas, comunicativas y de gestión.

En cuanto a las consultas a los directores sobre como influyó la formación del docente en la institución (Tabla 1 y Fig. 1), el 43,9 % de los directores encuestados expresaron que los docentes en formación desarrollaron la capacidad de liderazgo, el 25,5

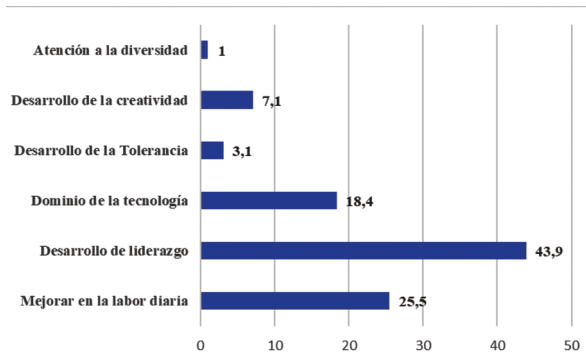


Figura 1. Impactos de la especialización sobre el desempeño del docente.

Tabla 2. Indicadores observados en docentes en formación.

Productividad laboral	55,3%
Producción intelectual	19,4%
Autoestima	16,5
Bienestar	7,8
Ingresos	1%

% dice que mejoraron en la labor diaria, el 18,4% que obtuvieron el dominio en la tecnología, el 3,1% opino que los docentes desarrollaron la tolerancia, y el 1% opina que desarrollaron la capacidad de la atención a la diversidad.

El 55,3% de los directores encuestados afirma que hubo un aumento en la productividad laboral en los egresados de la especialización, el 19,2% mejoró la productividad intelectual, el 17,2% dice que los docentes elevaron su autoestima, el 8,1% dice que obtuvieron bienestar, el 1% empleo y el

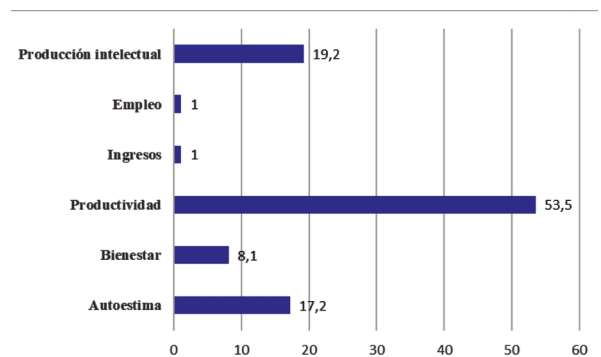


Figura 2. Indicadores observados en docentes en formación.

1% ingresos (Tabla 2 y Fig. 2).

En cuanto a la consulta ¿Los docentes en formación que realizaron el curso, se encuentran implicados en nuevos planes de acción en la institución que usted dirige? el 72,4 % de los directores encuestados expresaron que los docentes en formación se encuentran comprometidos en nuevos planes de acción en la institución, el 26,5% opina que de cierta forma están involucrados y solo el 1 % dijo que no se encuentran involucrados (Tabla 3 y Fig. 3).

Tabla 3. Realización de nuevos planes de acción en la institución.

Sí	72,5 %
En cierta forma sí	26,5%
No	1 %

DISCUSIÓN

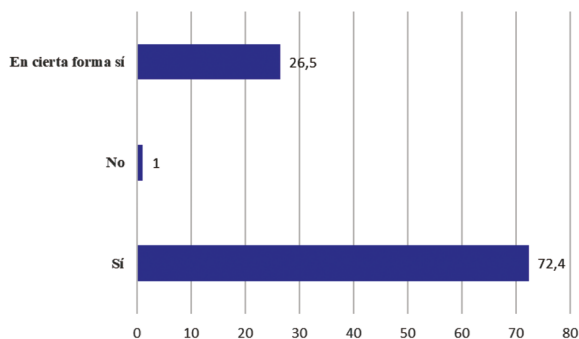
Según la información recabada con los formularios y entrevistas a los directores, se verifica cambios positivos en los docentes que participaron de la especialización, asimismo, los procesos son más eficientes, según los datos presentados en este trabajo. Los docentes en formación desarrollan nuevas competencias y, son útiles para las tareas diarias en lo pedagógico y en la gestión, por tanto, el desempeño de los docentes de nivel medio se ha elevado.

Los encuestados expresaron que se verifica una transformación deseada en este corto y mediano plazo, que los profesionales están teniendo la oportunidad de intervenir en proyectos con acciones concretas en las instituciones educativas en donde trabajan.

Según los egresados, denominados docentes en formación, los mismos desarrollaron las competencias para la innovación en términos pedagógicos, didácticos, investigativos y de gestión educativa, con apoyo en redes de aprendizaje, liderazgo y el uso de tecnologías de información y comunicación que guarda absoluta relación con el objetivo de la Especialización de aprendizajes basados en redes y liderazgo pedagógico.

Se concluye que al inicio del curso una mínima cantidad de participantes contaba con alguna preparación en el ámbito de diseño, desarrollo e implementación de metodologías y técnicas enfocadas en la innovación pedagógica. No obstante, 25% de los participantes ha manifestado contar con equipos de trabajo constituidos dentro de los centros escolares pero que, en gran medida, la gestión exitosa de los mismos depende del liderazgo directivo y/o de colegas dentro de la institución.

Solo una minoría de los consultados contaba con las suficientes habilidades digitales que le

**Figura 3.** Realización de nuevos planes de acción en la institución.

permitían sacar provecho y uso adecuado de la tecnología en los procesos en el aula. En la gran mayoría se observaba una brecha digital, no solo de uso, sino también de condiciones de acceso a los dispositivos terminales y a la conectividad. El 100% de los encuestados se refirió que a partir del curso se encuentra en condiciones de gestionar los cursos y ya no solo administrarlos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los docentes orientadores de la Especialización de Aprendizajes Basados en Redes y Liderazgo Pedagógico por el apoyo en la recolección de los datos presentados.

LITERATURA CITADA

- Area Moreira, M. (2010). ¿Por qué formar en competencias informacionales y digitales en la educación superior? *Revista de universidad y sociedad del conocimiento*, 7(2): 2-5.
- Billorou, N., Pacheco, M., & Vargas, F. (2011). *Guía para la evaluación de impacto de la formación*. Montevideo: Organización Internacional del Trabajo. 108 pp.
- Feixas, M., Lagos, P., Fernández, I. & Sabaté, S. (2015). Modelos y tendencias en la investigación sobre efectividad, impacto y transferencia de la formación docente en educación superior. *Educación*, 51(1): 81-107.
- De Lella, C. (1999). *Modelos y tendencias de la Formación Docente - OEI*. I Seminario

- Taller sobre Perfil del Docente y Estrategias de Formación, OEI. <<https://www.oei.es/historico/cayetano.htm>>.
- Escudero, T. (2016). La investigación evaluativa en el Siglo XXI: Un instrumento para el desarrollo educativo y social cada vez más relevante. *Relieve*, 22(1)4: 1-20.
- Gonzalez, M., & Alonso, M. (2017). *Metodología para la evaluación del impacto de la superación en el desempeño profesional pedagógico de los docentes en las filiales universitarias*. [Consultado: 15.viii.2018] <<http://www.congresouniversidad.cu/revista/index.php/rcu/article/view/89>>.
- Miles, M. B. & Huberman, A.M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2a ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications. 352 pp.

GUÍA PARA LOS AUTORES

Reportes Científicos de la FACEN, es una revista de acceso libre y gratuito y es la publicación científica oficial de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción. Es emitida semestralmente y publica **Artículos originales, Artículos de revisión, Tópicos actuales, Reportes de casos, Comunicaciones cortas y Correspondencia**, en las áreas de Biología, Química, Física, Matemática Pura, Matemática Estadística, Geología, Biotecnología y Tecnología de Producción. Los principales criterios para la selección de los artículos son la solidez científica y la originalidad del tema. Los trabajos y opiniones publicados en la revista son de exclusiva responsabilidad de los autores. El idioma oficial de la revista es el español, pero se aceptan trabajos en inglés y en portugués. No existe costo de publicación para los autores.

El trabajo será enviado en formato electrónico a la dirección email de la revista (reportescientificos@gmail.com), consistiendo en archivos de texto, archivos de planilla electrónica y archivos de imagen. **El archivo principal de texto debe contener únicamente texto, sin ilustraciones ni tablas embebidas**, sino únicamente las respectivas citas a las mismas en el texto (numeradas secuencialmente). **Las tablas e ilustraciones deberán ser remitidos en formato digital en archivos independientes**. Los respectivos archivos deberán indicar en su nombre a qué número de tabla o ilustración corresponden.

El archivo de texto debe ser producido con Microsoft Word® u otro editor de texto perfectamente compatible. El texto deberá estar en letra Times New Roman, tamaño 11. Todo trabajo llevará en su primera página los siguientes elementos: **a) el Título** en español e inglés, **b) la lista de Autores** con nombre y apellido, **c) la Afiliación** laboral de cada autor, **d) un Resumen** de un máximo de 250 palabras en español, **e) un máximo de 7 Palabras clave** en español, **f) un Abstract** en inglés, correspondiente a la versión en español y **g) un máximo de 7 Key words** en inglés, correspondientes a la versión en español. **En caso de trabajos en Portugués** se añaden Título, Resumen y Palavras chave en dicho idioma. El resumen sólo podrá obviarse en el caso de Editoriales, Comunicaciones cortas y Correspondencias presentadas como tales. El cuerpo principal del texto podrá contener, según el contexto del trabajo, las secciones de **1) Introducción, 2) Materiales y métodos (o sólo uno de ellos de acuerdo al caso), 3) Resultados, 4) Discusión, 5) Conclusión, 6) Agradecimientos y 7) Literatura citada**. Tales secciones podrán sufrir fusión o no existir, de acuerdo a la metodología de trabajo o enfoque dados por el autor, así como al tipo de escrito (Artículo original, Comunicación corta, etc.) como haya sido presentado por autor o como lo decida el comité editorial. **Los pies de figuras y tablas** deberán ir al final del texto, a continuación de la sección de literatura citada.

Las citas bibliográficas deberán seguir las normas APA. Según estas normas, el año va entre paréntesis y se destacan el autor y año en las citas en texto: “Según González (1999)” o “El método es reciente (González, 1999)”. Para la lista en la sección de Literatura citada la secuencia lógica y formato es de “Autor. (Año). Título. Publicador, Volumen(Número): Páginas.”, poniéndose siempre primero el apellido de cada autor, seguido de sus correspondientes iniciales y separados por comas, con el último autor separado por un signo de ampersand. Se aplicará cursivas respectivamente en el título si se trata de un libro o tesis, o en el publicador si se trata de un artículo. Se ilustra en los siguientes ejemplos:

González, A.P. (1999). *Métodos de análisis crítico*. Asunción: Editorial Nueva. 120 pp.

González, A.P., Martínez, G.T. & Robledo, H.A. (1999). Análisis de la producción científica del país. *Revista de Filosofía Científica*, 45(2): 56-61.

Las tablas y cuadros deberán presentarse en archivos de Microsoft Excell® u otro programa perfectamente compatible, aunque en muchos casos se aceptan también tablas embebidas en archivo de Microsoft Word®, siempre que sea en archivo separado del de texto. **Las ilustraciones (graficos, imágenes, fotos, dibujos, mapas, esquemas o láminas completas) deberán presentarse cada una en un archivo aparte**, en formato JPG o TIF, generados en Adobe Photoshop u otro programa de procesamiento de imágenes. Deberá cuidarse que posean buen enfoque, claridad y contraste, que tengan una resolución mínima de 300 dpi y máxima de 1000 dpi y teniendo en cuenta que su anchura máxima en la revista será de 16 cm.

El proceso de evaluación incluye una primera revisión por el Comité Editorial para determinar si el artículo corresponde a la línea editorial y si cumple con los criterios generales de publicación. Una vez que el artículo se considere pertinente, se someterá a por lo menos dos revisores especialistas en el tema, de cuya opinión depende la aceptación definitiva del artículo. Si existiera una contradicción en la opinión de ambos especialistas, se someterá al Comité editorial o en caso contrario se solicitará una tercera opinión de un tercer especialista. El dictamen podrá ser aceptado, rechazado o condicionado, que será comunicado por escrito al autor principal en un plazo no mayor de tres meses de la recepción del material original. Si el dictamen es condicionado, el autor deberá remitir la nueva versión impresa y en formato digital en el plazo que se le indique que no podrá exceder de los 30 días posteriores a la recepción de la comunicación.

REPORTES CIENTÍFICOS

D E L A F A C E N

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Rep. cient. FACEN	San Lorenzo (Paraguay)	Vol. 10, Nº 1	enero-junio de 2019	ISSN 2078-399X (versión impresa) ISSN 2222-145X (versión online)
-------------------	------------------------	------------------	---------------------	---

ARTÍCULOS ORIGINALES

- 3-9 **José María Gómez & Fredy Doncel.** Predicción completa del ciclo solar 24 mediante el método combinado.
- 10-16 **Federico Fernández, Juan Carlos Fabero & Hortensia Mecha López.** Control de procesos industriales utilizando hardware reconfigurable.
- 17-24 **Carlos Cañete.** La importancia del control y monitoreo de la calidad del agua del Río Paraguay para el desarrollo y la defensa nacional.
- 25-36 **Leonida Medina García, Francisco Paulo Ferreira, Hajime Guillermo Kurita Oyama, Sergio Rodríguez Bonet, Edgar Fidel Galeano & Mariza R. Viera.** Fitorremediación de cromo en efluente de curtiembre empleando *Eichhornia crassipes*.
- 37-48 **Julio César Benítez-Villalba, Noemí Dorival-García, Nadia Mabel Villalba-Villalba, Francisco Paulo Ferreira-Benítez, Sergio Rodríguez-Bonet & José Luis Vilchez.** Estudio cinético y degradación del triclosán y triclocarbán en suelos agrícolas enmendados con compost.
- 49-54 **Carlos Gonzalez, Rolando Alvarez & Violeta Rolón.** Impacto de la especialización de aprendizajes basado en redes y liderazgo pedagógico sobre el nivel de desempeño de docentes de la educación media.

