



## Evaluación de la remoción de materia orgánica del lixiviado mediante el proceso de electrocoagulación del botadero La Mejorada - El Tambo

### Evaluation of the organic matter removal from the leachate by means of the electrocoagulation process of the La Mejorada dump - El Tambo

César Augusto Loayza Morales<sup>1</sup>, Henry Ochoa León<sup>2</sup>

E-mail: cloayza@uncp.edu.pe / hochoa@uncp.edu.pe

#### Cómo citar

Loayza Morales, C. A. & Henry Ochoa León, H. (2020). *Evaluación de la remoción de materia orgánica del lixiviado mediante el proceso de electrocoagulación del botadero La Mejorada El Tambo*. Revista de la UNCP. 17(1), 109-114. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1393>

#### Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala de laboratorio para el tratamiento del lixiviado del botadero La Mejorada, donde se encontró valores de DQO 9962,6 mg/l, DBO5 6822,5 mg/l, conductividad eléctrica igual a 3620,0  $\mu\text{Sm/cm}$  y sólidos totales 4297,0 mg/l, valores que sirvieron como referencia para iniciar el trabajo. Con base en los resultados obtenidos al realizar el tratamiento con electrocoagulación, se determinó una eficiencia de hasta 91 % de la DQO y un 94 % en la DBO5, trabajando con pH 8 y tensión de corriente de 20 v e iniciando con un pH neutro en la muestra. Se debe tener en cuenta que no se tienen LMP para los lixiviados, por lo que, al comparar con los LMP para efluentes de PTAR, los resultados obtenidos no se encuentran dentro de los parámetros permitidos, por lo cual, se debe realizar un tratamiento adicional complementario.

Sin embargo, en la conclusión se determinó la composición físico química del lixiviado del botadero La Mejorada, así como el tiempo de retención hidráulica óptimo mediante el método de electrocoagulación con un voltaje administrado de 20 v, obteniéndose, de esta manera, una disminución de la carga orgánica de hasta el 90 %.

**Palabras clave:** remoción de materia orgánica, lixiviado, electrocoagulación, contaminación, carga orgánica.

#### Abstract

The objective of this research was to determine the effectiveness of a laboratory-scale electrocoagulation cell for treatment of the leachate from the dump, where found values of 9962.6 mg/l COD, 6822.5 mg/l BOD5, 3620.0  $\mu\text{Sm/cm}$ , 3620.0  $\mu\text{Sm/cm}$  Electrical conductivity and 4297.0 mg/l total solids were found, these values served as a reference to start the work. Based on the results obtained to perform the electrocoagulation treatment, efficiency of up to 91 % COD and 94 % BOD5 were determined by working with pH 8 and 20V current voltage and a neutral pH in the sample at the beginning. It must be taken into account that the MPLs are not available for leachates, so when compared with the MLPs for RWTP effluents, the results obtained are not within the permitted parameters, that is why additional complementary treatment must be carried out.

However, in the conclusion, the physical chemical composition of the leachate from La Mejorada dump was determined, as well as the optimal hydraulic retention time by means of electrocoagulation method with an administrative voltage of 20 v thus obtaining a decrease in the organic load of up to 90 %.

**Keywords:** removal of organic matter, leachate, electrocoagulation, pollution, organic load.

<sup>1</sup>Docente de la Fac. de Ingeniería Química / <sup>2</sup>Investigador externo

## Introducción

Actualmente un problema ambiental de importancia es la disposición final de los residuos líquidos, los cuales en su gran mayoría están siendo vertidos a los sistemas de alcantarillado sin tratamiento previo; en cuanto a la contaminación por residuos sólidos, es que son líquidos percolados o escurridos de los depósitos de almacenamiento de residuos. Estos líquidos reciben el nombre genérico de lixiviados y su importancia, en cuanto a contaminación, viene dada por su fuerte carga orgánica, la cual es fruto de su paso, con arrastre y disolución, a través de los residuos almacenados. Los lixiviados de RSU son líquidos muy contaminados, formados como consecuencia de la penetración del agua a través de la masa de residuos y por la propia descomposición de estos. Conllevan, por tanto, una gran complejidad, ya que presentan fuerte carga orgánica, altos contenidos de nitrógeno y presencia de metales pesados.

Sabemos que la protección y conservación de los recursos naturales constituyen hoy en día una de las principales preocupaciones sociales. La necesidad de preservar el medio ambiente ha llevado a la búsqueda de nuevos métodos para la eliminación eficiente de los compuestos químicos, biológicos y patógenos que alteran la estabilidad de nuestros recursos.

El objetivo de este trabajo de investigación es básicamente determinar la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento del lixiviado del botadero "La Mejorada"; de esta manera, minimizar el impacto ambiental al recurso hídrico del río Mantaro, ya que los lixiviados que proviene el botadero de "La Mejorada" son vertidos directamente a este cuerpo natural receptor.

## Materiales y métodos

### Materiales

- Celda de electrocoagulación.
- Electrodo de fierro.
- Electrodo de cobre.
- pHmetro.
- Fuente de poder.
- EPPs y otros.
- Guantes de goma.
- Protección respiratoria.
- Guardapolvo.
- Lentes contra impactos.
- Desinfectante
- Jabón

### Método

#### Construcción de celda de electrocoagulación

El sistema opera como reactor batch a escala pro-

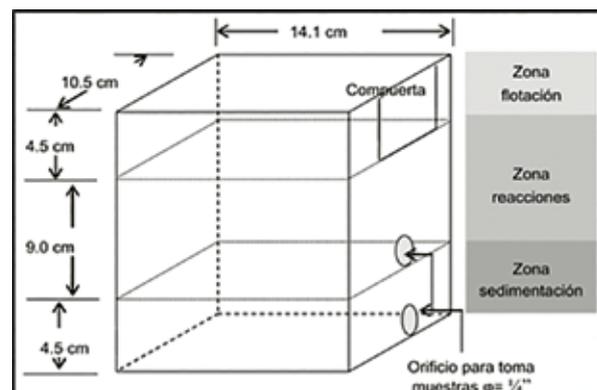
totipo, con capacidad para tratar 1,5 litros de aguas residuales. Consta de una celda electrolítica de dos litros en la cual están sumergidos los electrodos, estos electrodos son placas rectangulares metálicas de hierro y aluminio dispuestas en paralelo y conectadas a una fuente de voltaje de corriente directa que proporciona la corriente eléctrica requerida para la electrocoagulación.

La fuente de voltaje posee controles de corriente y voltaje regulables e independientes. (Arango, 2007)

La celda para electrocoagulación se diseñó considerando una distribución volumétrica que contempla tres regiones; una región superior, para el depósito de los lodos de flotación o lodos menos densos y las espumas, llamada zona de flotación; una región media, de reacciones electroquímicas, llamada zona de reacción en donde se encuentran los electrodos y; una región inferior, llamada zona de sedimentación donde se depositan los lodos de precipitación o lodos más densos. Esto se puede observar en la Figura 1.

**Figura 1**

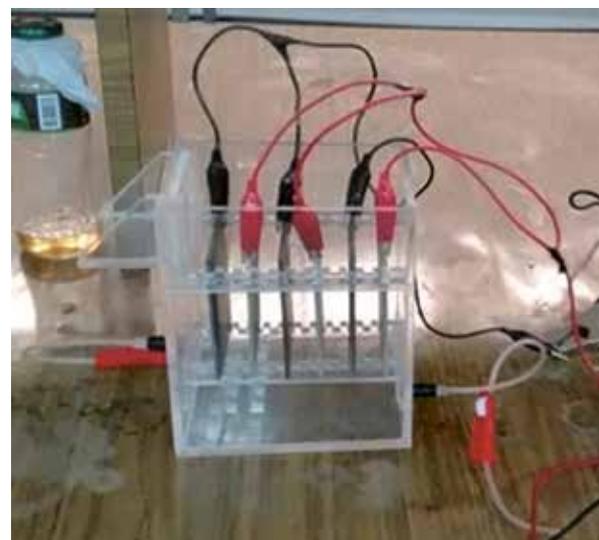
Dimensiones de la celda para electrocoagulación.



Fuente: (Arango, 2007)

**Figura 2**

Celda electroquímica.



## Selección del material de los electrodos, número de electrodos y dimensiones

Se probaron electrodos de hierro y aluminio por las siguientes razones:

- Disponibilidad de los metales.
- Son materiales relativamente baratos.
- Amplia información bibliográfica, en la que se reportan buenas remociones de contaminantes con estos materiales en la electrocoagulación, adicionalmente son los metales más utilizados en el proceso (Koby, 2003; Chen, 2002).

Los electrodos se diseñaron como placas rectangulares dispuestas en serie. Comercialmente, estos metales se encuentran disponibles como láminas de 3 mm de espesor. Se estableció una distancia de 2 cm entre el arreglo de placas y cada una de las caras laterales de la celda, para permitir de esta forma el flujo del agua residual durante la electrólisis.

Una distancia de 1.25 cm entre la cara frontal y los electrodos, igualmente 1.25 cm entre estos y la cara posterior de la celda (Arango, 2007).

## Resultados

### Caracterización de las aguas residuales del botadero

Se tomaron muestras representativas de los efluentes del lixiviado de Concepción mediante el protocolo de monitoreo y muestreo de la Autoridad Nacional del Agua, las cuales se envió al laboratorio para determinar los parámetros necesarios que nos indicó como inicio de la investigación, obteniendo como resultado la siguiente Tabla.

**Tabla 1**

*Caracterización del lixiviado.*

Parámetro	Método	Resultados
Sólidos disueltos	MS-2540-C-Secado a 180 °C	1905,0 mg/l
Sólidos suspendidos	MS-2540-C-Secano a 103 °C-105 °C	1597,0 mg/l
Sólidos totales	MS-2540-C-Secano a 103 °C-105 °C	4297,0 mg/l
O <sub>2</sub>	MS-5220-D-reflujo	0 mg/l
pH	MS-4500-H-B-Electrométrico	7,6
Conductividad	MS-2540-C-Secado a 180 °C	3620,0 μSm/cm
DQO	MS-5220-D-reflujo cerrado colorimétrico	9962,6 mg/l
DBO <sub>5</sub>	MS-5210-B-ROD 5 días	6822,5 mg/l

### Tratamientos experimentales

Luego se obtuvieron los resultados de cada tratamiento en función al diseño experimental del capítulo anterior que se presentan a continuación.

**Tabla 2**

*Resultados del tratamiento con pH 7 y tensión de corriente 20 v.*

Tiempo (min)	DQO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	pH	T (°C)
0	9962,4	6822,1	7,1	13,9
30	4821,6	2940,3	8,8	22,4
45	2546,5	1422,8	9,6	28,6
60	1748,2	859,3	10,4	35,7

En la Tabla 2, se muestran los resultados de los análisis realizados a las pruebas experimentales; en la primera columna, se encuentran los tiempos de exposición del lixiviado en el reactor de electrocoagulación; en la segunda columna, los resultados de DQO con un valor inicial de 9962,4 mg/l y finalizó con 1748,2 mg/l, en la tercera columna, se presenta los resultados de DBO<sub>5</sub> con un valor inicial de 6822,1 mg/l y finalizando con un valor de 859,3 mg/l, en la siguiente columna, los resultados de pH, con un valor inicial de 7,1 que fue incrementando hasta un valor básico de 10,4; en la última columna, se encuentra la temperatura que inicia en 13,9 °C y se incrementa hasta llegar a un valor de 35,7 °C.

**Tabla 3**

*Resultados del tratamiento con pH 8 y tensión de corriente 20 v.*

Tiempo (min)	DQO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	pH	T (°C)
0	9962,4	6822,1	7,9	14,6
30	4005,7	2541,3	9,3	24,7
45	2712,1	1358,2	10,4	29,8
60	902,9	412,2	10,9	35,4
75	900	405	11	40

En la Tabla 3, se muestran los resultados de los análisis realizados a las pruebas experimentales; la primera columna muestra los tiempos de exposición del lixiviado en el reactor de electrocoagulación; la segunda columna, los resultados de DQO con un valor inicial de 9962,4 mg/l y finalizó con 900 mg/l en un tiempo de 75 min, no existiendo mucha variación con una muestra anterior de 902,9 mg/l en un tiempo de 60 min; la tercera columna presenta los resultados de DBO<sub>5</sub> con un valor inicial de 6822,1 mg/l y finalizando con un valor de 405 mg/l; la siguiente columna presenta los resultados de pH, con un valor inicial de 7,9 que fue incrementando hasta un valor básico de 11; la última columna muestra la temperatura que inicia en 14,6 °C y se incrementa hasta llegar a un valor de 40 °C.

**Tabla 4**

*Resultados del tratamiento con pH 7 y tensión de corriente 30 v.*

Tiempo (min)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	pH	T (°C)
0	9125,3	6399,5	7	14,1
30	4109,8	2458,9	9,1	25,7
45	2415,6	1208,3	10,5	31
60	1225,1	598,7	11,4	39,7

En la Tabla 4, se muestran los resultados de los análisis realizados a las pruebas experimentales; la primera columna, muestran los tiempos de exposición del lixiviado en el reactor de electrocoagulación; la segunda columna, muestra los resultados de DQO con un valor inicial de 9125,3 mg/l y finalizó con 1225,1 mg/l; la tercera columna presenta los resultados de DBO5 con un valor inicial de 6399,5 mg/l y, finalizando con un valor de 598,7 mg/l; la cuarta columna muestra los resultados de pH, con un valor inicial de 7 que se incrementó hasta un valor básico de 11,4; en la última columna se encuentra la temperatura que inicia en 14,1 °C y se incrementa hasta llegar a un valor de 39,7 °C.

**Tabla 5**

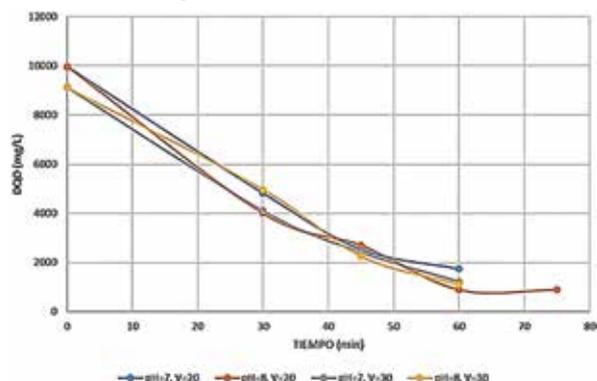
Resultados del tratamiento con pH 8 y tensión de corriente 30 v.

Tiempo (min)	DQO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	pH	T (°C)
0	9125,3	6399,5	8,1	14,5
30	4978,1	2935,7	9,9	24,6
45	2256,8	1199,5	10,8	31,1
60	1109,2	551	11,6	38,8

En la Tabla 5, se muestran los resultados de los análisis realizados a las pruebas experimentales; la primera columna muestran los tiempos de exposición del lixiviado en el reactor de electrocoagulación; la segunda columna muestran los resultados de DQO con un valor inicial de 9125,3 mg /l y finalizó con 1109,2 mg/l; la tercera columna presenta los resultados de DBO5 con un valor inicial de 6399,5 mg/l y finalizando con un valor de 551 mg/l; la cuarta columna muestran los resultados de pH, con un valor inicial de 8,1 que se incrementó hasta un valor básico de 11,6; en la última columna se encuentra la temperatura que inicia en 14,5 °C y se incrementa hasta llegar a un valor de 38,8 °C.

**Figura 3**

Reducción de la DQO.

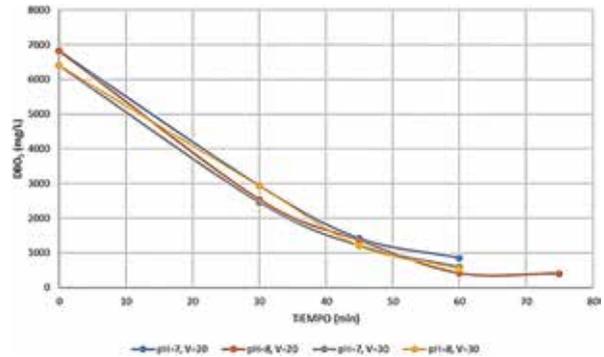


En la Figura 3, se muestra la disminución del valor de la DQO en el lixiviado tratado en el reactor de electrocoagulación, en periodos de tiempo de hasta 60 min y 75 min, con pH 7 y 8, y tensión de corriente de 20V y 30V, durante aproximadamente los 30 a 40 minutos iniciales se observa la mayor cantidad de reducción de este parámetro,

tro, y en los siguientes minutos, la velocidad de reducción disminuye hasta tornarse en valores constantes que muestran la detención del proceso.

**Figura 4**

Reducción de la DBO5.



En la Figura 4, se muestra la disminución del valor de la DBO5 en el lixiviado tratadas en el reactor de electrocoagulación, en periodos de tiempo de hasta 60 min y 75 min, con pH 7 y 8, y tensión de corriente de 20V y 30V, durante aproximadamente los 30 a 45 minutos iniciales se reduce la mayor cantidad de este parámetro y, en los siguientes minutos, los valores se tornan constantes deteniendo la reducción de los valores de la DBO5.

**Discusión**

Se caracterizó el lixiviado del botadero de La Mejorada, obteniendo los resultados en las tablas anteriores, los cuales superan los límites máximos. Los valores de la caracterización fueron sólidos disueltos de 1905 mg/l, solidos suspendidos de 1597 mg/l, sólidos totales 4297 mg/l, DQO de 9962, 6 mg/l, DBO5 de 6822,5 mg/l y un pH de 7,6.

Con los resultados de las pruebas experimentales, se calcularon los % de remoción de DQO y DBO5 a partir de la ecuación.

$$\% \text{ Remoción}_{DQO} = \frac{DQO_o - DQO_f}{DQO_o} * 100$$

**Tabla 6**

Cálculos de DQO y DBO5 con pH 7 y Tensión de corriente 30 v.

Tiempo	pH	% DQO	% DBO5	Relación DBO/DQO
0	7	0,000	0,000	0,701
30	9,1	0,550	0,616	0,598
45	10,5	0,735	0,811	0,500
60	11,4	0,866	0,906	0,489

La Tabla 6, muestra los porcentajes de la reducción de la materia orgánica en las pruebas experimentales con parámetros de pH 7 y tensión de corriente de 30V, en la primera columna muestra los tiempos aplicados en cada experimentación que llegaron hasta los 60 min; la segunda columna mues-

tra el valor del pH de la muestra que inicio en 7 y se elevó a un valor de 11,4; la tercera columna muestra el valor porcentual de la reducción de la DQO el cual fue cercano al 90 %; la cuarta columna muestra el valor porcentual de la reducción de la DBO5 obteniéndose un valor mayor al 90 % y; la última columna muestra la degradabilidad de la materia orgánica representada por la relación de la DBO/DQO, el cual tuvo un valor inicial de 0.701 y un valor final de 0.489.

**Tabla 7**

Cálculos de DQO y DBO5 con pH 8 y Tensión de corriente 30 v.

Tiempo	pH	%DQO	%DBO5	Relación DBO/DQO
0	8,1	0,000	0,000	0,701
30	9,9	0,454	0,541	0,590
45	10,8	0,753	0,813	0,532
60	11,6	0,878	0,914	0,497

La Tabla 7, muestra los porcentajes de la reducción de la materia orgánica en las pruebas experimentales con parámetros de pH 8 y tensión de corriente de 30 v; en la primera columna, muestran los tiempos aplicados en cada experimentación que llegaron hasta los 60 min; la segunda columna, se observa el valor del pH de la muestra que inició en 8,1 y se elevó a un valor de 11,6; la tercera columna, muestra el valor porcentual de la reducción de la DQO el cual fue cercano al 90 %; la cuarta columna, muestra el valor porcentual de la reducción de la DBO5 obteniéndose un valor mayor al 90 % y; la última columna, muestra la degradabilidad de la materia orgánica representada por la relación de la DBO/DQO, el cual tuvo un valor inicial de 0,701 y un valor final de 0,497.

## Conclusiones

- La composición físico química del lixiviado del botadero La Mejorada contienen sólidos disueltos de 1905 mg/l, sólidos suspendidos de 1597 mg/l, Sólidos totales 4297 mg/l, DQO de 9962,6 mg/l, DBO5 de 6822,5 mg/l y un pH de 7,6.
- El tiempo de retención hidráulica óptimo para el tratamiento lixiviado mediante el método de electrocoagulación es de 60 minutos, con un voltaje administrado de 20 v.
- El pH de lixiviado sometidas a tratamiento mediante el método de electrocoagulación, trabaja mejor con pH alcalino (pH=8); además, el valor del pH durante el proceso se incrementa y tiende a ser más alcalino.
- La tensión de corriente óptima en el tratamiento del lixiviado mediante el método de electrocoagulación es de 20 v.

- Se obtuvo una disminución de la carga orgánica de hasta el 90 % en el tratamiento del lixiviado mediante el método de electrocoagulación.

## Referencias bibliográficas

- Arango. (2005). *La electrocoagulación: Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. Revista Lasallista de Investigación, 49-56.
- Barkley. (1993). *Alternating current electrocoagulation for superfund site remediation*.
- Barrera, C. E. (2014). *Historia y evolución de la electrocoagulación. En aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. (págs. 165-180). Reverte.
- Chen. (2004). *Electrochemical technologies in wastewater treatment*. Separation and Purification Technology, 11-41.
- Chen & Sheng (2003). *Ingeniería Química Ciencia. China*.
- Cisneros, J. (2001). *La contaminación ambiental en México*. Limusa Noriega editores, 409-505.
- Diamadopoulos. (1994). *Characterization and treatment of recirculation - stabilized leachate*. Water Research., 23, 2439-2445.
- Díaz, C. E. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. Reverte.
- Foth, D. H. (1997). *Fundamentos de la ciencia del suelo*. CECSA, 207-214, 365-370.
- García, F. C. (2012). *Electrocoagulación: una alternativa para depuración de lactosuero residual*. AIDIS, 62-64.
- Gobierno del Distrito Federal, D. (2002). *Resumen ejecutivo sobre el monitoreo ambiental realizado en el sitio de disposición final en operación "Bordo Poniente"*. Dirección Técnica de Desechos Sólidos.
- Holt. (2003). *Electrocoagulation*. PhD thesis, Faculty of Engineering, The University of Sydney.
- Huijuan Liu, X. Z. (2010). *Electrocoagulation en el tratamiento de agua*. En X. Z. Huijuan Liu, Electroquímica del Medio Ambiente (págs. 245-262). Nueva York: Springer.
- J., S. C. (2005). *Contamina un derrame de lixiviados cultivos de Chiconautla y Totolcingo*. La Jornada, 50,95.
- Krishnam Rajeshwar, J. G. (1997). *Electroquímica ambiental: Fundamentos y aplicaciones en reducción de la contaminación*. Prensa académica.
- Méndez N., C. S. (2002). *Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario*.

- Mollah. (2001). *La ciencia y aplicaciones*. EE.UU. / Bangladés / México.
- Mollah. (2004). *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation*. Journal of Hazardous Materials.
- Mollah, M. &. (2001). *Electrocoagulation (EC)*. Science and applications: Journal of Hazardous Materials, 29-41.
- Ogutveren. (1992). *Journal of Environmental Science*.
- Phutdhawong. (2000). *Analytical Science* (Vol. vol. 16). The Japan Society of Analytical Chemistry.
- Prentice G. (1990). *Electrochemical Engineering*. National Science Foundation.
- Restrepo. (2006). *La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas*. Producción + Limpia, 58-77.
- Ríos. (2005). *The passivation of the electrode in the electrocoagulation process*. Portugaliae Electrochimica Acta 23, (págs. 17-34). Mexico.
- Skoog. (2001). *Química Analítica*. Nueva York, Estados Unidos: edición, McGraw-Hill.
- Social, S. d. (2001). *Manuales técnicos para el manejo de la basura ¡Por un México Limpio!* (SEDESOL).
- Tchobanogluos, T. A. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Mc Graw-Hill/Interamericana , 120-128, 407-502.
- Víctor, E. & Reyes Cruz, Y. M. (5 de Enero de 2012). ADIS. ECURED - *Conocimiento con todos y para todos*: <http://www.ecured.cu/index.php/Cromo>
- Walsh. (2001). *Pure and applied chemistry*.