

Recuperación de oro de residuos electrónicos aplicando métodos no convencionales de baja contaminación ambiental, a nivel de laboratorio

Recovery of gold from electronic waste by applying unconventional methods of low environmental contamination, at laboratory level

Jorge Emilio Ricardo Yaya Lévano
jeryl221@hotmail.com - Universidad Privada Sergio Bernales
Miguel Angel Coaquira Yapu
mcoaquiras23@gmail.com - Universidad Privada Sergio Bernales

Resumen

El objetivo de este estudio fue la aplicación de métodos no convencionales utilizados para la recuperación de oro a partir de residuos electrónicos, como las técnicas de oxidación selectiva con persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) y cloruro cúprico ($CuCl_2$), reactivos con bajo impacto ambiental, en el oro. Tratamiento no lixiviado. Los resultados obtenidos de la aplicación de los métodos se comparan en relación con su eficiencia y disminución del impacto ambiental, seleccionándose el persulfato de potasio, para luego evaluar en el tratamiento de desechos eléctricos y estandarizar el uso. Los resultados obtenidos permiten establecer que el tratamiento con persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) tiene mayor ventaja que el cloruro cúprico ($CuCl_2$), permite el uso del solvente universal, una buena recuperación de oro de 5.680 g (98.28%, de alta pureza, el óptimo La concentración para el tratamiento es del 20% p / v, el tiempo de tratamiento es de 90 minutos.

Palabras claves: *Oxidación selectiva, recuperación de oro por métodos no convencionales, recuperación de oro con sulfato de potasio, recuperación del oro con residuos electrónicos.*

Abstract

The objective of this study was the recovery of gold from electronic waste by applying low environmental impact, and unconventional methods, such as selective oxidation techniques with potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) and cupric chloride ($CuCl_2$), reagents with low environmental impact, in the not leached gold treatment. The results obtained from the application of the methods are compared in relation to their efficiency and decrease in environmental impact, potassium persulfate has been selected, for then evaluating in the treatment of electrical waste and standardizing the use. The results obtained allow to establish that the treatment with potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) has greater advantage than the cupric chloride ($CuCl_2$), allows the use of the universal solvent, for good recovery of gold 5.680 g (98.28%, of high purity, the optimum concentration for treatment is 20% p/v, the treatment time is 90 minutes.

Keywords: *Selective oxidation, recovery of gold by unconventional methods, recovery of gold with potassium sulfate, recovery of gold with electronic waste.*

Introducción

Según Honorio Oliveros Gómez (2011), la recuperación de metales valiosos oro, plata y del grupo del platino, a partir de tarjetas electrónicas, requiere de múltiples etapas, debido a las diferentes aleaciones y combinaciones existentes entre materiales cerámicos, poliméricos y metálicos que en ellas se presenta, y es posible la recuperación por métodos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos. Investigadores del Instituto Técnico de la Universidad de San Andrés de Bolivia (2010) sostienen que los métodos de recuperación son variados, pero existen pasos específicos para su recuperación, especialmente el que se trata con agua regia, métodos de contaminación ambiental. Para Andrea Alzate Naranjo, y otros (2012), el método es más efectivo, y que tiene mayor potencial de óxido reducción, en él se utiliza agua como solvente y se obtienen buena recuperación, es el de oxidación selectiva, sin embargo ante este panorama, los esfuerzos en el mundo no son significativos.

Los estudios existentes en nuestro país son ínfimos, no existen aplicaciones tecnológicas de recuperación de metales a partir de desechos electrónicos, que garanticen separación selectiva, limpia, sostenible, menos algún proyecto industrial eficiente para recuperar materiales considerados especiales presentes en los componentes electrónicos, o alternativas de uso de estos materiales, los cuales poseen propiedades únicas y diferenciadas de otros, que bien podrían usarse en la industria automotriz, biomédica y domótica.

Las aplicaciones electrónicas presentes en diversos artefactos, componentes o sistemas electrónicos son importadas, debido al desconocimiento y carencia de los materiales constituyentes. Los pocos casos registrados de recuperación están referenciados a los metales auroargentíferos.

Particularmente somos un gran productor de desechos electrónicos y se considera que en los próximos años el problema ambiental provocado por estos será considerable, debido a los contenidos de sustancias tóxicas como los bromuros de llama retardante, las resinas epóxicas y los plásticos, considerados en la convección de Estocolmo, como contaminantes de la salud humana y el medio ambiente, al ser incinerados en la industria eléctrica y electrónica sin ningún control.

La implementación de métodos no convencionales de bajo impacto ambiental, para la recuperación de metales preciosos provenientes de residuos chatarra, eléctricos y electrónicos, es importante, debido al aumento desmedido en la generación de estos residuos y a la carencia de métodos ecológicamente seguros que permitan la recuperación y aprovechamiento de metales preciosos.

Los métodos pirometalúrgicos (Instituto de Pirometalurgia p 102 - 103) e hidrometalúrgicos (Lee, 2012, p 380 - 387) tienen una gran demanda y aplicabilidad para la recuperación de estos metales, sin embargo su implementación está asociada con

severos daños ambientales (Lu, 2011 - 2166 - 2170) ocasionados por la formación de dioxinas y furanos en el proceso de fundición de los residuos y por el uso indiscriminado de sustancias tóxicas, como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, agua regia, peróxido de hidrógeno (Ramírez, 2013, 81 - 91), cloruro férrico [Restrepo, 2007, 380 - 383], cianuros, haluros, tiourea y tiosulfatos [Pant, 2012 - 970 - 990].

Recuperación del oro por los métodos convencionales hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos

El tratamiento hidrometalúrgico supone la utilización de ácidos y mezclas de ácidos para la disolución de los metales nobles en ellos, para su posterior obtención mediante precipitación. El proceso pirometalúrgico supone la fundición de los circuitos impresos en conjunto con cobre, para que éste último absorba a los metales preciosos y de esta manera obtenga una aleación que contiene cobre, oro, plata y platinoides; esta aleación se refina luego electrolíticamente, quedando un sedimento de metales preciosos, que después de una segunda fundición resulta en la llamada aleación doré, que es una aleación de metales preciosos de alto valor comercial.

Es necesaria la realización de una serie de procedimientos de separación de metales, mediante ácidos, con el correspondiente análisis químico de los productos obtenidos. A su vez, dentro del primer grupo, se distinguen tres técnicas: Extracción con ácidos puros o mezcla de ácidos, Lixiviación mediante tiourea y sulfato férrico y Lixiviación mediante cianuro sódico e hidróxido de sodio.

Luego se procede a la separación química o electroquímica de metales como hierro, cobre, cinc, plomo, cadmio y otros ya disueltos, como también de metales preciosos (también disueltos) tales como platino, plata, oro, paladio, etc. Otra salida posible es la separación y concentración de metales preciosos, como el oro, mediante extracción con la ayuda de solventes como metil etil cetona o metil isobutil cetona.

Es también utilizada la separación por extracción de cobre, con solventes orgánicos previa reacción de formación de complejo no polar con ion metálico central de cobre.

En el caso del método pirometalúrgico, se utiliza la fundición al cobre, con la subsiguiente refinación electrolítica de cobre impuro.

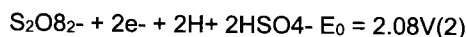
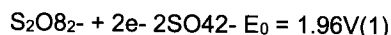
Ambos procesos son muy utilizados en la actualidad, pero por el contenido de las sustancias ácidas que utilizan en los sub procesos, se convierten en procesos de alto impacto ambiental, en tal sentido, es conveniente la utilización de métodos que no se utilicen sustancias ácidas que contaminen el medio ambiente, no perjudiquen la salud del ser humano que sean de bajo impacto ambiental.

Recuperación del oro por métodos no convencionales

Los métodos no convencionales de bajo impacto ambiental desarrollados, incluyen la recuperación de metales preciosos a través de técnicas oxidativas. Son pocos los estudios acerca de este tipo de técnicas, los que se reportan son la recuperación de oro utilizados con soluciones de persulfato de potasio y con cloruro cúprico que son métodos de bajo impacto ambiental.

Recuperación por oxidación selectiva con persulfato de potasio

Estudios realizados por Syed, S, demuestran la utilización del persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) como agente de oxidación selectiva para la recuperación de oro a partir de residuos electrónicos, que son presentados como sustratos sobre los cuales se deposita oro sobre metales base como cobre y níquel. El método se centra en la oxidación selectiva parcial o total de los metales base, esta oxidación debilita las uniones sustrato - recubrimiento y el oro se recupera en su estado no lixiviado. El proceso de disolución del sustrato es determinado por la formación de iones persulfato ($S_2O_8^{2-}$) que, al ser expuestos a temperaturas moderadas, producen radicales ($SO_4^{\cdot-}$) que se encargan de la oxidación. Los valores de potencial estándar redox para el sistema son reportados por Bard, A.J. que se muestran en las ecuaciones 1 y 2.

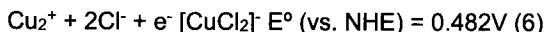
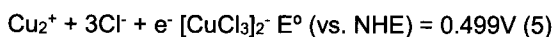
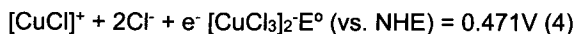
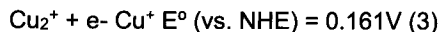


Para la recuperación del oro se utilizó una solución acuosa de ($K_2S_2O_8$) al 20 % (p/v) a temperatura de ebullición y por un periodo de 20 minutos, tiempo en el cual se logró la oxidación y la obtención de oro. Los porcentajes de eficiencia en la recuperación fueron del 98 % teniendo como referencia los procesos de cianuración. En términos de subproductos, se genera sulfato de cobre, que tiene la característica de ser inofensivo para el medio ambiente.

Recuperación por oxidación selectiva con cloruro cúprico

Estudios realizados por Barbieri (2009), reportan el uso del cloruro cúprico ($CuCl_2$) como agente de lixiviación selectiva para la recuperación de oro presente en residuos electrónicos. El $CuCl_2$ fue evaluado en términos de eficiencia y cinética, seleccionándose como agente oxidativo de bajo impacto ambiental por su capacidad de regeneración total. La restauración del agente oxidante hace que el proceso propuesto sea considerado ambientalmente amigable. El $CuCl_2$ es preparado en solución de ácido hidrocórico al 1.5M y evaluado a diferentes concentraciones sobre conectores electrónicos. El $CuCl_2$ oxidó selectivamente los conectores dejando inalterada la capa de oro que se recuperó posteriormente. Los potenciales de óxido reducción

del sistema, son presentados por Lundström, M. et al y se muestran en las ecuaciones 3, 4, 5 y 6.



En términos de eficiencia, el proceso se proyecta como una excelente alternativa al alcanzar oxidaciones completas en cortos periodos de tiempo y a temperatura ambiente.

Materiales y métodos

Materiales

La muestra de chatarra de residuos eléctricos y electrónicos, estuvo constituidos por circuitos impresos de computadoras, siendo cortados, siendo los puntos de inserción de las tarjetas electrónicas fuentes de recuperación de oro.

Reactivos

El reactivo utilizado como agente no lixivante de oxidación selectiva de bajo impacto ambiental fue el persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) de grado comercial, con una pureza del 98%.

Procedimiento

De acuerdo a los dos métodos descritos, se seleccionó el persulfato de potasio, debido a la seguridad de operación, eficiencia en la recuperación y bajo costo.

El tratamiento con cloruro cúprico reporta menores tiempos de reacción, su empleo en el manejo requiere control estricto debido al uso del ácido hidrocórico y por la posible formación de cloro gaseoso durante la reacción. En el siguiente cuadro se muestran comparativamente los dos sistemas.

Determinación de la oxidación sobre sustratos

En el presente estudio se evaluó el comportamiento del persulfato de potasio a diferentes concentraciones sobre 100g de muestra en solución acuosa a temperatura de ebullición y con agitación magnética. Las soluciones fueron preparadas en porcentajes en volumen (%p/v) de 10, 15, 20, 25, 30 y 35 en agua destilada, según el método reportado por Syed, S., adicionalmente se administró aire al sistema confines de mejorar la remoción de oro.

La respuesta obtenida fue el tiempo de remoción del oro. El cálculo porcentual de oro removido es calculado teniendo en cuenta el porcentaje total de oro presente en la muestra inicial, determinado por el peso total de oro recuperado de 5 fracciones de 50g

seleccionadas aleatoriamente y sometidas a disolución completa del sustrato.

Oxidación selectiva de la muestra

Fueron sometidos 15 kg de fuente metálica al proceso de oxidación selectiva, dividiendo el total del material en 3 fracciones de 5 Kg., luego cada fracción fue tratada a 90 minutos de tratamiento en solución al 20 (% p/v) de persulfato de potasio diluido en agua a temperatura de ebullición. Durante este tiempo el cobre presente en la fuente se oxidó parcialmente, lo suficiente como para permitir el desprendimiento del oro. Las soluciones resultantes de cada fracción del proceso de oxidación, contienen en la superficie, oro en forma no lixiviada. Las soluciones fueron recolectadas luego de realizar lavados sucesivos del sustrato parcialmente oxidado. Posteriormente se

separó el metal de interés con un equipo de filtración al vacío. Se utilizaron filtros con poro de 11µm. El oro quedó retenido en el filtro de para luego ser retirado y fundición, el líquido residual se almacenó con fines de obtener sulfato de cobre en cristales como subproducto.

Características por microscopia de electrónica de barrido (sem)

El oro recuperado de tres fracciones fue fundido en horno de inducción realizándose posteriormente análisis espectrofotométrico con fines de determinar su pureza. Los análisis fueron realizados con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 5910LV equipado con detectores de rayos X tipo EDS para microanálisis químico cualitativo y semi-cuantitativo.

Resultados y discusión

Tabla 1.
Composición de metales preciosos de los residuos electrónicos

Elemento	Composición No 1 (min) %	Composición No 2 (máx) %
Au	0,03	0,31
Ag	2,5	2,89
Cu	12,04	23
Al	15,4	17,61
Fe	12,3	7,45
Ni	3,25	2,2
Pb	3,5	2,85
Sn	1,4	1,23
Platinoides	0,15	0,3
Otros	49,43	42,16

Datos que corresponden a diferentes tipos de análisis, en tal sentido se toman dos extremos, las concentraciones, de oro; es conveniente considerar que el contenido de este metal en circuitos electrónicos de procesadores se encuentra en el orden de 200-500 g/t, cifra muy significativa (1 t de circuitos, y no de procesadores completos).

Tabla 2.
Características de los sistemas de oxidación

Características	Sistema Persulfato de potasio	Sistema Cloruro cúprico
Máximo Potencial de redox	E0 (vs. NHE) = 2.08V	E0 (vs. NHE) = 0.499V
Medio de disolución	Agua	Ácido hidrocórico
Regeneración del reactivo	No	Si
Porcentajes de recuperación	98%	No reportado
Impacto ambiental	Bajo	Bajo

El tratamiento con cloruro cúprico reporta menores tiempos de reacción, su empleo en el manejo requiere control estricto debido al uso del ácido hidrocórico y por la posible formación de cloro gaseoso durante la reacción.

Concentración efectiva del persulfato sobre la muestra

Tabla 3
Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 10 % p/v a diferentes tiempos de remoción

Nivel	Concentración K ₂ S ₂ O ₈ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	10	60	14.712
2	10	90	20.730
3	10	100	21.253
4	10	110	21.361
5	10	120	22.207
6	10	130	22.414

En la Tabla podemos apreciar que a variados tiempos de tratamientos se consigue una remoción parcial del oro, consiguiéndose el máximo porcentaje de remoción a 130 min.

Tabla 4

Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 15 % p/v a diferentes tiempos de remoción

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	15	60	56.317
2	15	90	80.562
3	15	100	86.215
4	15	110	86.803
5	15	120	87.069
6	15	130	87.549

De la Tabla se puede apreciar que el mayor porcentaje de remoción se consigue a los 130 minutos de tratamiento, teniendo en cuenta la misma concentración de persulfato de potasio se observa una ligera diferencia con menores tiempos de tratamiento.

Tabla 5.

Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 20 % p/v a diferentes tiempos de remoción

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	20	60	96.634
2	20	90	98.276
3	20	100	98.276
4	20	110	98.276
5	20	120	98.276
6	20	130	98.276

De la Tabla se puede apreciar que el máximo porcentaje de remoción se consigue a los 90 minutos de tratamiento, observándose el mismo porcentaje de recuperación hasta los 130 minutos.

Tabla 6

Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 25 % p/v a diferentes tiempos de remoción

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	25	80	96.122
2	25	85	97.941
3	25	87	98.266
4	25	90	98.275
5	25	100	98.275
6	25	130	98.275

De la Tabla podemos apreciar que el máximo porcentaje de dilución se obtiene a los 90 minutos de tratamiento, manteniéndose el porcentaje de remoción hasta los 110 minutos de tratamiento, también se observa que los porcentajes de remoción a menor tiempo no difieren mucho de los 90 minutos.

Tabla 7.

Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 30 % p/v a diferentes tiempos de remoción

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	30	85	98.154
2	30	86	98.269
3	30	87	98.276
4	30	88	98.276
5	30	89	98.276
6	30	90	98.276

De la Tabla se puede apreciar que el tiempo máximo de remoción es 87 minutos obteniéndose 98.276 % de remoción, manteniéndose la misma cantidad hasta los 90 minutos. Es necesario tener en cuenta que los datos de prueba se consideran minuto a minuto por la cantidad de sustancia en remoción.

Tabla 8.

Tratamiento de la muestra con persulfato de potasio al 35 % p/v a tiempos diferentes de remoción

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción*(%)
1	35	Remoción parcial	0.156
2	35	83	98.437
3	36	84	98.226
4	35	85	98.267
5	35	86	98.267
6	35	87	98.267

En la Tabla se puede apreciar que la mayor remoción se consigue a los 85 minutos de tratamiento, manteniéndose esta cantidad a mayor tiempo. Es necesario tener en cuenta que los datos de prueba se consideran minuto a minuto por la cantidad de remoción.

Tabla 9.

Matriz concentración efectiva de persulfato de potasio, tiempo de remoción y % de remoción de la muestra

Nivel	Concentración $K_2S_2O_8$ (%p/v)	Tiempo de remoción (Minutos)	Porcentaje de remoción* (%)
1	10	Remoción parcial	22.414
2	15	130	87.069
3	20	90	98.276
4	25	90	98.275
5	30	87	98.276
6	35	85	98.267

Se estableció una concentración ajustada de 20 (%p/v) y un tiempo de reacción de 90 minutos para la recuperación de oro desde la fuente propuesta. Concentraciones inferiores al 10% no lograron debilitar las uniones entre el sustrato metálico y el oro, lo cual es concordante con los reportes de Syed, S. Al aumentar la concentración en un 30 y 35%, el tiempo de remoción del metal precioso se mantuvo entre 85 y 87 minutos, tiempos que no representan mejoras en la eficiencia del método, debido a que el incremento en la concentración aumentaría significativamente el costo del proceso.

Oro recuperado de cada fracción

Con del tratamiento con solución al 20 % p/v de persulfato de potasio y a 90 minutos de remoción, se obtuvo oro no lixiviado. Los porcentajes de recuperación se muestran en la Tabla 8.

Tabla 10.

Recuperación de oro a 90 minutos de tratamiento con solución de persulfato al 20 % p/v

Muestra	Oro recuperado (g)	Oro recuperado (%)	Recuperación (%)
1	5.680	0.116	98.28
2	5.712	0.114	98.28
3	5.630	0.113	97.41

Se evidencia una recuperación de oro en rangos 5.630 gr, 5.712 gr. y 0.680 gr para las 03 muestras de las que se recuperan 98.28 %, 98.28 % y 97.41 %, con una cantidad de 0.116%, 0.114 % y 0.113 %, siendo la muestra N° 1 en la que se recupera mayor cantidad.

Discusión

El trabajo presentado es suigeneris por ser la primera investigación de esta magnitud en la provincia de Cañete, sin embargo, según un diagnóstico de chatarra de electrodomésticos realizado por la Secretaría Federal de Asuntos Económicos de Suiza, se estima que en el 2008 hubo una generación de 40,500 toneladas de basura electrónica en países industrializados de sud américa, y que el 2013 hubo 75,000 toneladas, estimando que para el año 2018 estima una producción de 105,000 toneladas (Bard, 1985, p 107), lo que según los resultados alcanzados 98.28 % de recuperación en la provincia de Cañete contribuiría significativamente a la mejora de la calidad del ambiente y por ende de la salud.

Conclusiones

Los estudios de métodos no convencionales de bajo impacto ambiental aplicados para la recuperación de oro de residuos electrónicos, permiten establecer que tratamientos con persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) tienen mayores ventajas que el tratamiento con cloruro cúprico ($CuCl_2$) como: el elevado potencial de óxido reducción, el uso del solvente universal agua, la buena recuperación de oro, la concentración óptima para tratamiento es de 20 % p/v, el tiempo de tratamiento es de 90 minutos, obteniéndose alta remoción de oro, lo que ha contribuido sustancialmente a disminuir la contaminación ambiental y a mejorar la calidad de vida de la mujer cañetana, y la de sus dependientes.

Referencias bibliográficas

- Autoridad de Desperdicios Sólidos. (2010). Ventajas del reciclaje de <http://www.ads.gobierno.pr/secciones/reciclaje/ventajasdelreciclaje.htm>
- Barbieri, L, Goivanardi, R, Lancellotti, I, Michelazzi, M, (2009) "A New environmentally friendly process for the recovery of gold from electronic waste", *Environmental Chemistry Letters*, Vol.8, No.2, pp. 171-178.
- Bard, A.J, Parsons, R, Jordan, J, (1985) "Standard Potentials in Aqueous Solution", New York, Marcel Dekker, pp. 107.
- Cakir, O (2006) "Copper etching with cupric chloride and regeneration of waste etchant", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.175, pp. 63-68.
- Chancerel P., Meskers C., Hagelüken C. y Rotter V.. Assessment of precious metal flows during preprocessing of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Industrial Ecology*, 13(5), 791-810.
- Flandinet, L, Tedjar, F, Ghetta, V, Fouletier, J, (2012) "Metals recovering from waste printed circuit boards (WPCBs) using molten salts", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 213-214, pp. 485-490.
- Garther. (2011). Gartner Lowers PC Forecast as Consumers Diversify Computing Needs Across Devices. Recuperado de <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1570714> arther.
- Greenpeace. Basura informática. http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2011/contaminacion/basura_electronica_otra_cara_tecnologia.pdf
- Kristofova, D, Karnik, T, "Hydrometallurgical extraction of gold from electronic waste", *Miner. Slov*, Vol.28, No.5, pp. 429-430, 1996.
- Lee, J.C, Song, H.T, Yoo, J.M, (2007) "Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea", *Resources Conservation and Recycling*, Vol.50, No.4, pp. 380-397.
- Lundström, M, Aromaa, J, Forsén, O, (2008) "Redox potential characteristics of cupric chloride solutions", *Hydrometallurgy*, Vol.95, pp.285-289.
- Lu, W, Lu, Y, Liu, F, Shang, K, Wang, W, Yang, Y, (2011) "Extraction of gold (III) from hydrochloric acid solutions by CTAB/n-heptane/iso-amyl alcohol/Na₂SO₃ microemulsion", *Journal of Hazardous Materials*, Vol.186, No 2-3, pp. 2166-2170.
- Pant, D, Joshi, D, Upreti, M.K, Kotnala, R.K, (2012) "Chemical and biological extraction of metals present in E waste: A hybrid technology", *Waste Management*, Vol.32, pp. 979-990.
- Rosales J. (2011). Gestión integral y reciclaje de ewaste: Experiencias en Ecuador. Manejo de Desechos Tecnológicos (pp. 1-2).
- Statistics Canada (2009). Material composition of personal computers. http://www41.statcan.ca/2006/1762/hm/ceb1762_003_6-eng.htm
- Syed, S, (2006) "A green technology for recovery of gold from non-metallic secondary sources", *Hydrometallurgy*, Vol. 82, pp. 48-53, 2006.

- Syed, S, (2012) "Recovery of gold from secondary sources-A review", Hydrometallurgy, Vol.115, pp. 30-51.
- Tuncuk, A, Stazi, V, Akcil, A, Yazici, E.Y, Deveci, H, (2012) "Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling", Minerals Engineering, Vol.25, pp. 28-37.
- Yang, H, Liu, J, Yang, J, (2011) "Leaching copper from shredded particles of waste printed circuit boards", Journal of Hazardous Materials, Vol.187, No. 1-3, pp. 393-400.