

**ADVANCES IN THE IDENTIFICATION OF THE COMPONENTS OF
ALUVION (PLATINIUM AND GOLD) BY DIGITAL IMAGE PROCESSING****AVANCES EN LA IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL
ALUVIÓN (PLATINO Y ORO) POR MEDIO DE TRATAMIENTO DIGITAL DE
IMÁGENES****PhD. (c) Rafael Bolivar, PhD. César A. Peña Cortes, MSc. Gonzalo Moreno****Universidad de Pamplona**

Departamento de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial.
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 156.
E-mail: {rbolivarl, cesarapc, gmoren}@unipamplona.edu.co

Abstract: This paper presents the progress in the technological developing for the identification of components from the alluvial concentrate of platinum, in order to implementation a system which will be used in its purchase and separation process. Also, it describe a modular device controlled lighting conditions to take ideal images of concentrate samples, as well, the selection of a suitable background. Illustrates the algorithm image processing to identify the components of concentrate based on information generated by the component H (Tone) of the HSV color space. Further it presents a statistical analysis to select the thresholds classification as well the filters used..

Keywords: Identification, Image Processing, Platinum

Resumen: En este artículo se presenta los avances en el desarrollo tecnológico para la identificación de los componentes del aluvion concentrado con el fin de implementar un sistema que sera utilizado en el proceso de compra y separacion del mismo. Se describe un dispositivo modular que controla las condiciones lumínicas con el fin de tomar imágenes idóneas de las muestras de los componentes del concentrado del aluvión, al igual que la selección de un fondo adecuado. Ilustra el algoritmo de procesamiento de imágenes que identifica los minerales partiendo de la información dada por la componente H (tonalidad) del espacio de colores HSV. Presenta un análisis estadístico para seleccionar los umbrales de clasificación al igual que los filtros empleados. Por último se presentan un análisis de los resultados obtenidos.

Palabras clave: Identificación, Procesamiento de Imágenes, Platino, Aluvión platinífero.

1. INTRODUCCIÓN

El sexteto de los metales platínicos “PGM – platinum group metals” conformado por los platínicos pesados (densidades aprox. 22 g/cm³) platino (Pt), osmio (Os), iridio (Ir) y los platínicos livianos (densidades aprox. 12 g/cm³) rodio (Rh), rutenio (Ru) y paladio (Pd) conforman junto con el

oro y la plata los llamados metales nobles cuales exhiben propiedades fisicoquímicas atractivas como su alta resistencia a la corrosión, su alta conductividad eléctrica, su alta temperatura de fusión, su biocompatibilidad y para algunos de ellos, su comportamiento catalítico entre otras, que confieren un carácter indispensables en el uso de aplicaciones especiales en donde ningún otro

material puede ser utilizado. Debido a esto, los PGM han incrementado su uso las últimas dos décadas, en aplicaciones que van desde catalizadores en la industria petroquímica, automotriz, y las celdas de combustible, pasando por conductores en muchos de los aparatos electrónicos, prótesis dentales y material de construcción para reactores de las industrias químicas y del vidrio, hasta su uso en joyería o para aseguramiento del capital en forma de lingotes o monedas. La Figura 1 muestra los porcentajes de uso para el platino e iridio en cada una de estas aplicaciones. (Umicrome, 2005)

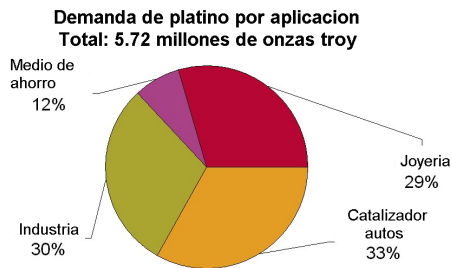


Fig. 1. Demanda de platino por aplicación 2010.

Fuente: <http://www.platinum.matthey.com/>.

A pesar que Colombia fue el país donde se descubrió el platino y hasta los años cuarenta fue el mayor productor de platino en el mundo, actualmente junto con Ecuador, Brasil y otros países, suman máximo el 2% de producción a nivel mundial como se muestran en la Figura 2 (Jhonson Matthey, 2010).

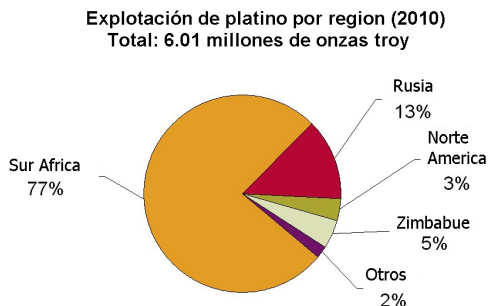


Fig. 2. Explotación de platino por región 2010.

Fuente: <http://www.platinum.matthey.com/>

A pesar de la baja producción de PGM de Colombia al consumo mundial (Tabla 1), el precio de los PGM hacen de ellos, un negocio atractivo que junto con los otros metales como el oro, plata y hierro representan el 0.5% del Producto Interno Bruto colombiano (PIB) colombiano (Portal de información minera Colombiana, 2010)

Tabla 1: Producción de Platino en Colombia

Producción de Platino - Colombia (Oz)					
	2006	2007	2008	2009	2010
Antioquia	456,9	122,0	58,1	55,5	152,1
Cauca	43,0	35,7	24,3	59,9	53,0
Choco	50213,3	53654,2	48231,1	32655,8	34967,2
Nacional	50713,2	53812,8	48313,5	32776,6	35186,4

Fuente: www.ingeominas.gov.co

Calculando una relación con base al precio internacional del platino (Figura 3) (Precios internacionales de metales, Kitco, 2011) y suponiendo que el aluvión explotado en Colombia tiene aproximadamente 85% peso de platino (Ingeominas 1974, 2010), se podría decir que la explotación de platino durante el 2010 fue de aproximadamente 58.9 millones de dólares, lo que indicaría que el platino represento el 0.03% del PIB para 2010.

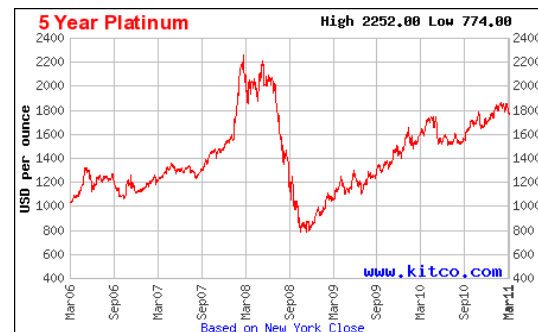


Fig. 3. Precio internacional de platino.

Fuente: <http://www.kitco.com/>

Las cifras económicas anteriormente hacen interesante el estudio de los aluviones platiníferos respecto a su explotación y refinación.

2. ALUVIONES PLATINIFEROS

La gran mayoría de los aluviones platiníferos se encuentran en el Chocó en las orillas de los ríos Atrato, San Juan y sus afluentes Ito, Condoto, Apogodo, Cajon y Tamana. En menor proporción en Antioquia y en Nariño en cercanías de Tumaco.

Los aluviones de los diferentes ríos del departamento de Chocó y Antioquia tienen un porcentaje aproximado de 85% de Pt y 2% de Pd, Os, Ir. (Ingeominas 1974) Los aluviones del bajo Tumaco muestran un contenido muy diferente, aproximadamente de 84% Os e Ir y solo 1% de Pt (Bolivar, R. 2000).

Actualmente estos aluviones son concentrados y vendidos internacionalmente como un mineral en bruto, no existe en Colombia ninguna empresa que se dedique a la refinación de metales platínicos a partir del aluvión para producir metales de pureza mínima de 99.9%, perdiendo el valor agregado que ello implica junto con todas las connotaciones asociadas a las fuentes de empleo, pagos de impuestos y desarrollo tecnológico.

3. PROCESO DE EXPLOTACIÓN Y REFINACIÓN DE LOS PGM

Inicialmente los metales platínicos contenidos en forma de aluvión deben ser concentrados gravimétricamente por métodos manuales o mecánicos, que producen un concentrado platinífero conformado por tres diferentes componentes, estos son: el aluvión platinífero propiamente dicho, aluvión de oro y jagua, siendo esta última arenas de bajo contenido de platino. Este concentrado es tratado posteriormente en procesos de refinación para obtener los metales platínicos por separado y en purezas mínimas del 99.9 %.

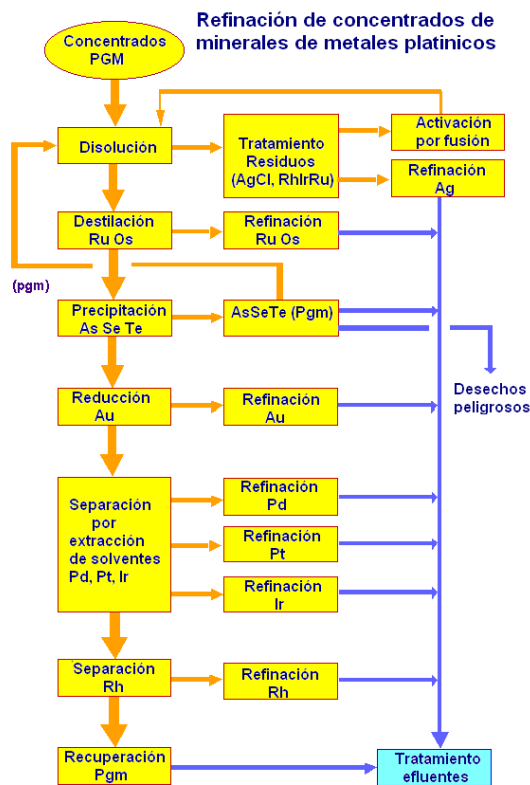


Fig. 4. Diagrama del proceso de refinación de concentrado de minerales platínicos Fuente: <http://www.halwachs.de/pgm-refining.htm>

Tal proceso (ver figura 4) consiste en disoluciones químicas, normalmente usando mezclas de ácidos altamente oxidantes (HCl con HNO₃) o fusión en sales sólidas; posterior separación por hidrólisis o usando extracción por solventes o reactivos selectivos, para finalmente, lograr una separación de alta pureza de cada uno de los metales platínicos contenidos en el concentrado.

La Universidad de Pamplona teniendo en cuenta el impacto de los metales platínicos en la economía colombiana, ha planteado un proyecto de investigación para la “Determinación de la factibilidad tecno-económica para la refinación de los metales platínicos colombianos”. Este artículo es el resultado de los primeros avances para diseñar un sistema que pueda identificar y cuantificar los diferentes componentes del concentrado platinífero (aluvión platinífero, aluvión de oro y jagua) que podría ser utilizado eventualmente para determinar el precio de compra del concentrado y para diseñar un sistema macetrónico de separación física de dichos componentes para una alimentación selectiva al proceso de separación únicamente del aluvión platinífero haciéndolo económicamente más eficiente debido al ahorro en reactivos químicos que de otra forma deberían ser usados en la disolución de los otros componentes con sus posteriores pasos de refinación.

4. IDENTIFICACIÓN DEL ALUVIÓN DE ORO Y ALUVIÓN DE PLATINO POR MEDIO DE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Como un primer paso en esta investigación, se presentan los resultados obtenidos del estudio del aluvión de oro y el aluvión de platino. Posterior análisis no publicado dará una profundización teniendo adicionalmente el tercer componente del concentrado platinífero, este es, la jagua.

El procesamiento digital de imágenes ha permitido la identificación de diferentes objetos, materiales y texturas en diversos campos como la biología, la química, etc. Existen varias aplicaciones en minería tales como las presentadas en (Mengko et. al., 2000), (Li y Hu, 2010), (Weixing, 2007), (Xueyu y Binghui, 2010). En esta sección se describe la identificación de los componentes del concentrado platinífero (aluvión oro y aluvión platinífero) por medio del tratamiento digital de imágenes.

4.1 Toma de imágenes

Con el fin de realizar una identificación de los de los componentes (aluvión de oro y aluvión platinífero) por medios ópticos se deben tomar muestras separadas de cada uno de ellos donde los granos de cada componente tiendan a ser de un tamaño similar. De igual forma se debe tener en cuenta que las muestras deben estar homogéneamente distribuidas por lo cual es aconsejable mezclar adecuadamente los componentes antes de tomar las fotografías evitando que solo uno de los componentes quede en la superficie.

Para la toma de imágenes se utilizó una caja modular (ver figura 5) que controla las condiciones lumínicas por medio de LEDs (diodos emisores de luz) y filtros difuminadores de luz que se encargan de desviar la luz en diversos sentidos hacia la muestra disminuyendo las sombras y otros efectos ópticos que pueden generar algunos inconvenientes durante el procesamiento digital de las imágenes.

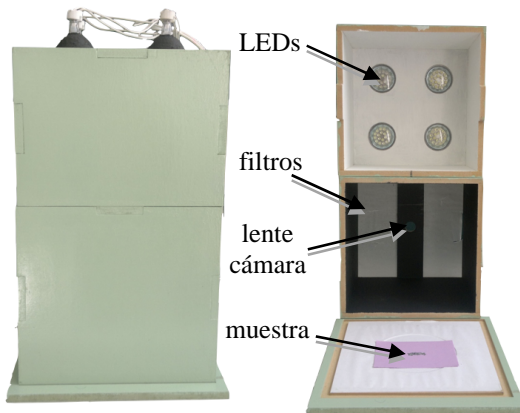


Fig. 5. Caja modular para controlar las condiciones lumínicas en la toma de imágenes de las muestras de los componentes.

Debido a que se quiere implementar este sistema durante el proceso de compra y separación de los componentes del concentrado y teniendo en cuenta que el tamaño de la muestras del concentrado son muy reducidas se utilizó una cámara con óptica Carl Zeiss – T2.8/28 la cual permite tomar fotografías desde una distancia de 10 cm (modo macro) con una resolución de 12 megapíxeles, que puede ser adquirida por cualquier usuario a un precio económicamente asequible.

4.2 Selección del color del fondo

Para la identificación de los componentes fue necesario seleccionar un fondo donde se depositarán las muestras para tomar las imágenes.

El color y la textura del fondo debe ser cuidadosamente seleccionado con el fin de poderlo identificar y diferenciar claramente con respecto a los componentes de estudio.

La textura del fondo debe ser lo más homogénea posible. En un principio se utilizó como fondo un papel de color blanco, sin embargo se detectaron varios inconvenientes debido a que algunos granos de aluvión platinífero tendían a poseer los mismos colores en algunas regiones, tal como se aprecia en la figura 6.

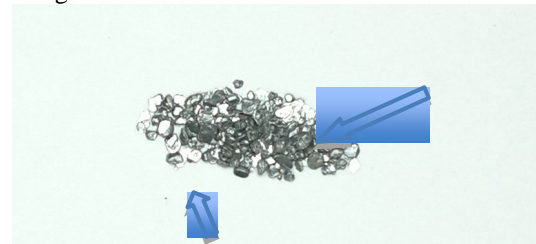


Fig. 6. Muestras de platino con fondo blanco.

Para evitar este tipo de inconveniente se pre-seleccionaron varios papeles de diferentes colores tal como se aprecia en la figura 7, con el fin de analizar las características ópticas de los mismos y seleccionar uno que se diferenciara adecuadamente de los componentes.

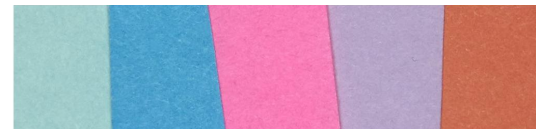


Fig. 7. Selección del color del fondo.

En un comienzo se analizaron los diversos fondos pre-seleccionados al igual que los componentes por separado utilizando el espacio de Colores RGB (Rojo, Verde y Azul), sin embargo, se detectaron varias semejanzas entre algunos píxeles correspondientes al aluvión de oro y al aluvión platinífero (Susilowati et. al. 2002). Por esta razón se decidió trabajar en el espacio de colores HSV (tonalidad, saturación y brillo) (Pajares, 2008), (Femiani y Razdan, 2009), (Li y Guo, 2010), específicamente con la componente H en la cual se diferencian de una mejor forma los diferentes materiales (Da Rocha y Cid, 1995). En la figura 8 se puede apreciar una imagen de los tonos

(componente H) de los diferentes fondos pre-seleccionados.



Fig. 8. Tonos de la imagen de selección del color del fondo.

En la figura 9 se ilustra el histograma correspondiente a los tonos de los diversos fondos. Se puede apreciar que los cinco fondos pre-seleccionados se diferencian claramente unos de otros, se optó por usar el fondo de color morado debido a su alta diferencia óptica de los tonos correspondientes al aluvión platinífero y el aluvión de oro como se ilustrará más adelante.

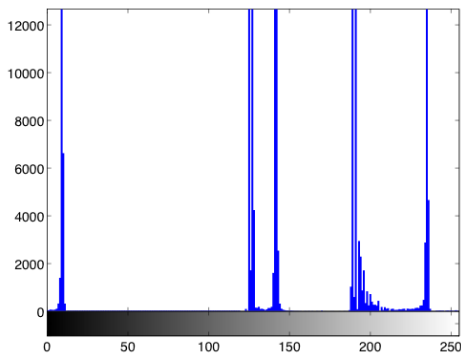


Fig. 9. Histograma de los tonos de la imagen de selección del color del fondo (escala 1:255).

En la figura 9 se observa el histograma de una imagen con un solo fondo (fondo seleccionado). Se puede apreciar la proximidad de las tonalidades que indica una iluminación apropiada.

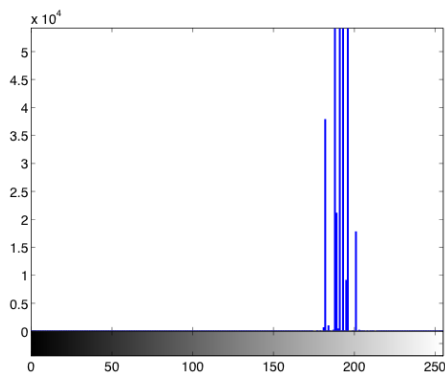


Fig. 10. Histograma de los tonos de la imagen del color del fondo seleccionado (escala 1:255).

Para caracterizar las tonalidades correspondientes al fondo seleccionado se tomaron varias imágenes

del mismo y se realizó un análisis de los píxeles encontrándose los siguientes resultados:

- Moda: 188
- Media: 190.4656
- Desviación estándar: 4.1194

Debe tenerse en cuenta que la escala para describir las tonalidades se tomó de 0 a 255.

4.3 Caracterización del aluvión de oro

En esta sección se describe la caracterización del primer componente (aluvión de oro). En la figura 11 se ilustra una imagen con una muestra de este aluvión.

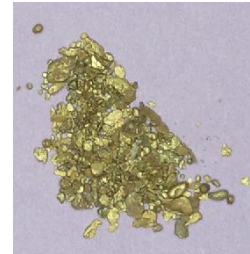


Fig. 11. Imagen con una muestra del aluvión de oro.

En la figura 12 se ilustra la imagen correspondiente a la componente H (tonos) donde se aprecia claramente una diferencia entre los tonos de los píxeles correspondiente al aluvión de oro y los correspondientes al fondo.

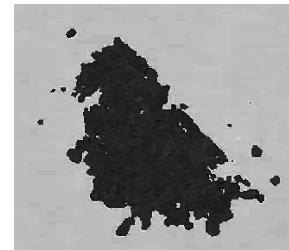


Fig. 12. Tonos de la imagen de muestra del aluvión de oro.

Con el fin de lograr mayor homogeneidad se aplicó a la imagen procesamiento por filtrado no lineal (filtro mediana) (Gnoping, 1996) con un elemento estructurante en forma de disco y con un radio de 7 píxeles. Este filtro ayuda a disminuir los efectos producidos por las variaciones en las tonalidades de los píxeles correspondientes a las sombras producidas por la forma irregular de los granos del aluvión de oro.



Fig. 12. Aplicación del filtro sobre la imagen de tonos de la imagen de muestra del aluvión de oro.

Posteriormente se toman los píxeles que no correspondan con los del fondo (píxeles correspondientes al oro – ver figura 12) y se crea un vector con las tonalidades de los mismos. Con este vector se realiza el histograma de tonalidades del aluvión de oro, tal como se ilustra en la figura 13.



Fig. 13. Selección de los píxeles correspondientes del aluvión de oro.

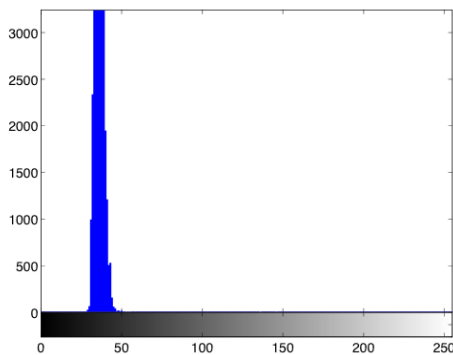


Fig. 14. Histograma de los tonos de los píxeles correspondientes al aluvión de oro (Escala 1:255).

Se tomaron varias imágenes realizando el mismo procedimiento y se obtuvieron los siguientes resultados estadísticos:

- Moda: 36
- Media: 36.4286
- Desviación estándar: 2.8502

4.4 Caracterización del segundo componente (aluvión platinífero)

La caracterización del segundo componente (aluvión platinífero) se realizó de forma análoga al primero. En la figura 15 se ilustra la imagen de una muestra de segundo componente.

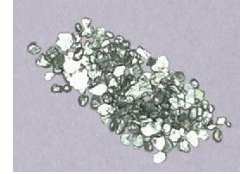


Fig. 15. Imagen con una muestra del aluvión platinífero.

Una vez se ha realizado la transformación al espacio de colores HSV, se toma el canal H, se le aplica el filtro no lineal previamente nombrado y son seleccionados los píxeles correspondientes al componente tal como se ilustra en la figura 16.

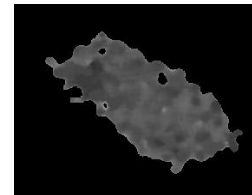


Fig. 16. Selección de los píxeles correspondientes al aluvión platinífero.

En la figura 17 se ilustra el histograma de las tonalidades correspondientes al segundo componente.

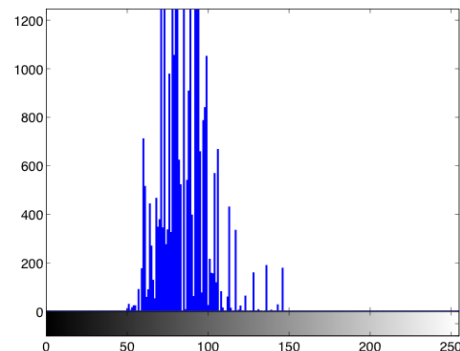


Fig. 17. Histograma de los tonos de los píxeles correspondientes al aluvión platinífero (Escala 1:255).

Este procedimiento se realizó en repetidas ocasiones con el fin de caracterizar el aluvión platinífero obteniendo los siguientes resultados:

- Moda: 85
- Media: 83.5198
- Desviación estándar: 11.9986

Una vez caracterizados los dos componentes (aluvión platinífero y aluvión de oro) y el fondo se procede a realizar una umbralización en tres sectores para su clasificación. Los rangos de umbralización se calcularon basándose en la media y la desviación estándar de cada uno de los materiales. En la tabla 2 se puede apreciar los rangos calculados.

Tabla 2. Rangos de umbralización para la clasificación por tonos de la imagen. (1:255)

	Inicio	Fin
Componente 1	20	45
Componente 2	45	150
Fondo	150	225

5. RESULTADOS

En esta sección se describe un ejemplo de identificación de los componentes. En la figura 18 se ilustra una imagen con una muestra de ambos componentes. La muestra básicamente está compuesta por dos grupos, el primero en su mayoría posee aluvión de oro y 4 granos de aluvión de platino, mientras que el segundo está compuesto en su mayoría por aluvión platinífero y tiene 4 granos de aluvión de oro.

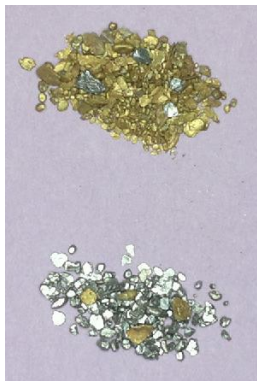


Fig. 18. Imagen con una muestra de ambos componentes.

En la figura 19 se ilustra imagen de tonalidades aplicando el filtro mediana. Se puede apreciar una diferencia clara entre los componentes.

En la figura 20 se ilustra el histograma de la imagen de tonalidades. Se pueden distinguir claramente 3 agrupaciones, las cuales corresponden con los dos componentes y el fondo.

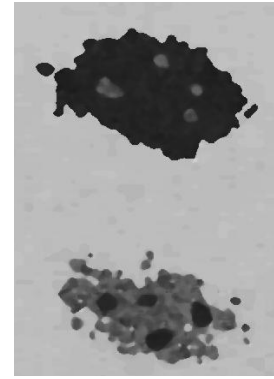


Fig. 19. Aplicación del filtro sobre la imagen de tonos de la imagen de muestra con ambos componentes.

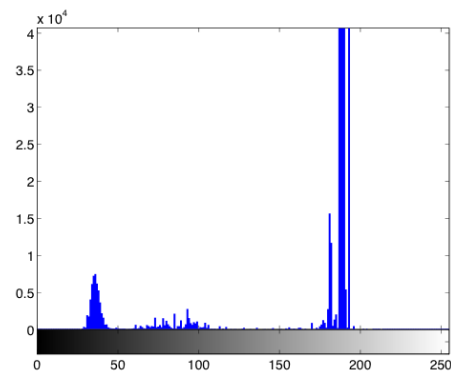


Fig. 20. Histograma de la imagen de tonos (escala 1:255)

Realizando la umbralización descrita en la sección anterior se obtiene la clasificación de los componentes que se ilustra en la figura 21. El color rojo corresponde al primer componente (aluvión de oro) y el verde al segundo componente (aluvión platinífero).

Debe tenerse en cuenta que para obtener mejores resultados se deben realizar varias fotografías de las muestras de componentes mezclando adecuadamente las mismas y con base en ellas hacer una estandarización estadística.

Para la muestra se procesaron 8 imágenes obteniéndose en promedio los siguientes porcentajes, aluvión de oro: 58.7 %, aluvión de platino: 41.3 %.

La desviación estándar de los porcentajes obtenidos fue de 0.389 lo cual indica que los porcentajes obtenidos en las diversas imágenes son bastantes próximos mostrando una buena repetibilidad en la toma de las medidas.

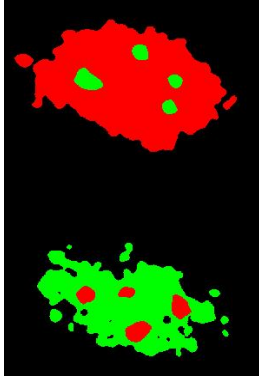


Fig. 21. Identificación de los componentes.

6. CONCLUSIONES

Debido a que los aluviones platiníferos extraídos en Colombia son vendidos como concentrados a postores internacionales, perdiendo todo el posible valor agregado que produciría un posible proceso de refinación, con su pérdida al mismo tiempo en generación de fuentes de empleo, impuestos y desarrollo tecnológico, y teniendo en cuenta que este concentrado es aproximadamente el 0.03% del producto interno bruto colombiano, aproximadamente 59.8 millones de dólares al año, se hace plausible y acertado un estudio sobre la factibilidad tecno-económica para la explotación, refinación y comercialización de estos metales.

Debido a que los concentrados de aluvión están conformados por diferentes componentes, que al separarlos individualmente, podrían conllevar a un proceso de refinación mas económico y selectivo, y adicionalmente, la posible cuantificación de los componentes durante el proceso de compra del concentrado, hacen del análisis óptico de imágenes una herramienta aplicable para conseguir dichos fines.

Desde el punto de vista de procesamiento de imágenes, la componente H (tono) del espacio de colores HSV permite distinguir adecuadamente los diferentes componentes a pesar de las sombras producidas por las formas irregulares de las muestras.

La identificación de los componentes por medio de tratamiento de imágenes es posible siempre y cuando las muestras de los componentes se encuentren adecuadamente mezcladas. Esto se puede evidenciar en el bajo valor de la desviación estandar obtenida en los resultados.

REFERENCIAS

- Da Rocha Fernandes, A.M.; Cid Bastos, R. (1995). "A fuzzy expert system for qualitative chemical analyses of minerals using color recognition," Proceedings of ISUMA - NAFIPS '95 The Third International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis and Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society, vol., no., pp.734-738, 17-19.
- Femiani, J.C.; Razdan A. (2009). "Interval HSV: Extracting ink annotations," Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on, vol., no., pp.2520-2527, 20-25.
- Gnoping Qiu (1996). "An improved recursive median filtering scheme for image processing" Image Processing, IEEE Transactions on, vol.5, no.4, pp.646-648.
- Li Shuhua; Guo Gaizhi. (2010). "The application of improved HSV color space model in image processing," Future Computer and Communication (ICFCC), 2010 2nd International Conference on, vol.2, no., pp.V2-10-V2-13, 21-24.
- Li Gao-fei; Hu Guang-dao. (2010). "Mineralization Information Extraction Using ASTER Image," Multimedia Technology (ICMT), 2010 International Conference on, vol., no., pp.1-4, 29-31.
- Mengko, T.R.; Susilowati, Y.; Mengko, R.; Leksono, B.E. (2000). "Digital image processing technique in rock forming minerals identification," Circuits and Systems, 2000. IEEE APCCAS 2000. The 2000 IEEE Asia-Pacific Conference on, vol., no., pp.441-444.
- Pajares M., G. y Cruz G., J. M. (2008). *Visión por computador*, Alfaomega & Ra-Ma, Segunda edición, México.
- Susilowati, Y.; Rahyuwibowo, H.; Mengko, T. R. (2002). "Characteristic of interference color in rock forming mineral images," Circuits and Systems, 2002. APCCAS '02. 2002 Asia-Pacific Conference on, vol.2, no., pp. 265-268 vol.2.
- Xueyu Huang; Binghui Wei, (2010). "Mineral Particle Image Processing and Parameter Extracting," Logistics Engineering and Intelligent Transportation Systems (LEITS), 2010 International Conference on, vol., no., pp.1-4, 26-28.
- Weixing Wang (2007). "Image Analysis of Size and Shape of Mineral Particles," Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007. FSKD

2007. Fourth International Conference on, vol.4, no., pp.41-44, 24-27.
- Ingeominas (1974-2010). “Recursos minerales de Colombia” Pag. 429-437, www.ingeominas.gov.co.
- Bolívar L. Rafael (2000). “*Selección de un proceso de refinación para platino nativo colombiano*” Tesis de Pregrado –UIS.
- Umicore (2005). “*Stoffströme der Platingruppenmetalle*” GMB .
- UPME (2010). “*Colombia país minero, Plan nacional para el desarrollo minero*” Pag 35-36.
- Precios Internacionales del Platino (2011). www.Kitco.com
- Jhonsen Matthey “Platinum chart” (2011). <http://www.platinum.matthey.com/>
- Halwachs Edelmetallchemie und Verfahrenstechnik, “*PGM refining*” <http://www.halwachs.de/pgm-refining.htm>
- Portal de información minera de Colombia. <http://www.imcportal.com/contenido.php?option=showpagecat&scat=5>