

## **TÉCNICAS DIGITALES EN MINERALOGÍA INDUSTRIAL: Análisis digital de imagen y Sistemas de información geográfica.**

**Berrezueta, E.**

*Instituto Geológico y Minero de España, email: e.berrezueta@igme.es*

**Castroviejo, R.**

*ETSI Minas (Universidad Politécnica de Madrid), email: ricardoc@minas.upm.es*

**Domínguez, M.J.**

*Departamento de Geología (Universidad de Oviedo), email: mjer@mi.madritel.es*

**Morante, F.**

*FIC de la Tierra (Escuela Superior Politécnica del Litoral), email: f.morante@espol.edu.ec*

### **RESUMEN**

Tal como ha ocurrido desde hace unas décadas con la teledetección, hoy es factible pensar en la aplicación sistemática del Análisis Digital de Imagen (ADI) en mineralogía, mediante sistemas acoplados al microscopio, tanto de reflexión como petrográfico. Las mejoras en los equipos y la investigación sistemática de la metodología están permitiendo el diseño de rutinas capaces de un amplio espectro de aplicaciones (en este caso se presentarán ejemplos para concentración de menas y áridos). El problema abordado en este trabajo es el de obtener una imagen que abarque una amplia área de la escena estudiada y que a la vez, mantenga una gran resolución. La solución que se plantea es la utilización de un proceso análogo a la geo-referenciación, habitualmente empleada en teledetección sobre imágenes de satélite y por los Sistemas de Información Geográfica sobre datos vectoriales y raster. La referenciación de las imágenes microscópicas se realizará utilizando un sistema de coordenadas (x,y) que permita montar imágenes secuenciales en una sola imagen. La imagen mosaico final permitirá realizar análisis granulométricos muy completos y aumentar la potencialidad del ADI en la cuantificación de parámetros geométricos y morfológicos de los granos minerales estudiados, presentes y visibles en preparaciones microscópicas.

**Palabras clave:** Análisis de Imagen, Mineralogía, Metales Preciosos, Minería.

### **INTRODUCCIÓN**

El Análisis Digital de Imagen (ADI) aplicado a muestras mineralógicas bajo el microscopio, presenta una problemática diversa. Por un lado, el problema de la reproductibilidad (control de las variables que condicionan el proceso, puesta a punto del equipo, pulido de las muestras, etc.). Y por otro, el de no poder obtener una imagen con buena resolución que abarque una amplia área de la escena estudiada en la que se representen tanto los granos de gran tamaño como los pequeños. Solventada la reproductibilidad de las medidas (Berrezueta, 2004), es imprescindible plantear una metodología que aborde la obtención de una imagen de gran resolución y que contenga la mayor información posible.

#### **• Materiales utilizados**

El equipo utilizado consiste en un Microscopio óptico *Leica DMRXP*, trabajando en aire, luz reflejada y objetivo 20 X, cámara de vídeo color 3 CCD Sony XC-003P, tarjeta de adquisición *Meteor*, *Software* de ADI *Aphelion 3.1* y *Software GIS Arc Gis 8.3*.

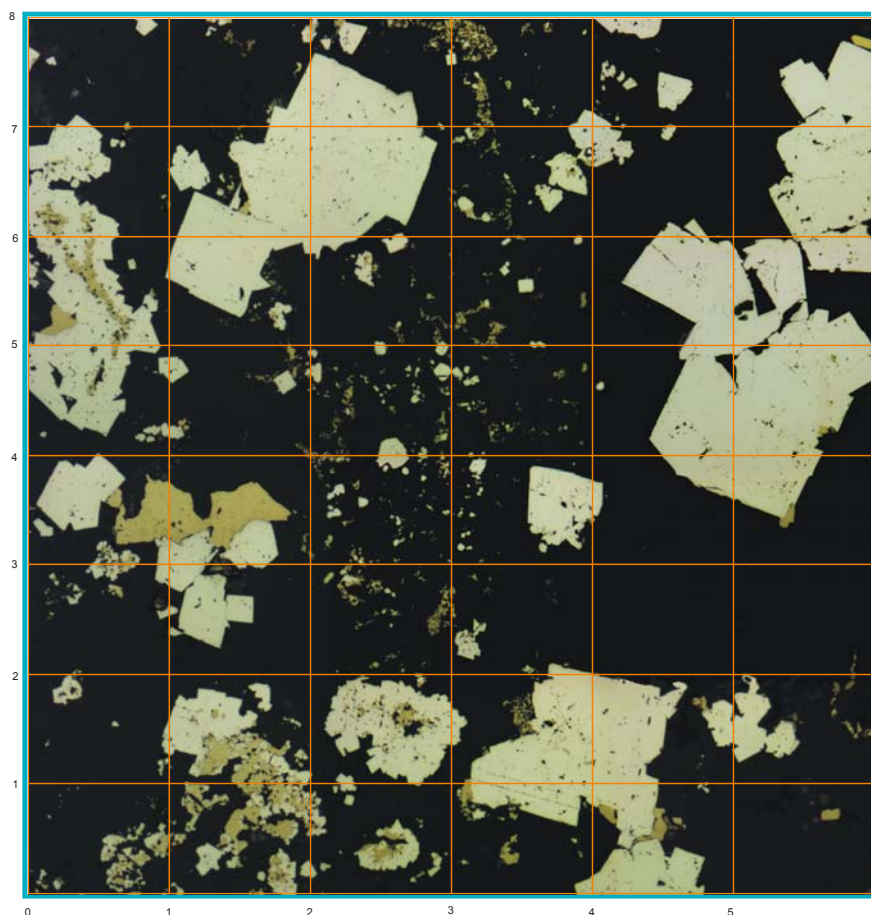
#### **• Metodología Desarrollada**

- Adquisición de las Imágenes con garantía de reproductibilidad. (Berrezueta, E. 2004).
- Referenciación de las imágenes microscópicas según filas y columnas.
- Obtención de una imagen compuesta por imágenes individuales solapadas (imagen mosaico).
- Segmentación de las fases minerales en la imagen mosaico.
- Cuantificación e interpretación de parámetros geométricos y morfológicos de granos minerales.

## RESULTADOS OBTENIDOS

- **Obtención de Imagen Mosaico**

La solución para obtener una imagen de gran resolución (20 X) y que abarque tamaños de granos minerales grandes (500 micras), ha sido la utilización de la georeferenciación de imágenes y posterior composición mediante Sistemas de Información Geográfica. La referenciación de las imágenes microscópicas se realizará utilizando un sistema de coordenadas (x,y) preestablecido por el operador. El resultado es el siguiente (Figura 1).



**Figura 1. Imagen mosaico(1500 um \*1800 um) formada por solapamiento de 48 imágenes.**

El análisis de imágenes mosaico (Figura 1) ha sido planteado para aportar datos mineralógicos cuantitativos que permitan mejorar los procesos de beneficio de la mena e, indirectamente, facilitar el control del uso de reactivos durante estos procesos, para mejorar el impacto ambiental .

- **Cuantificación por ADI**

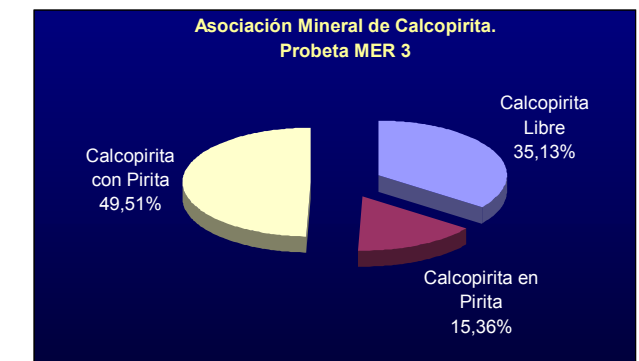
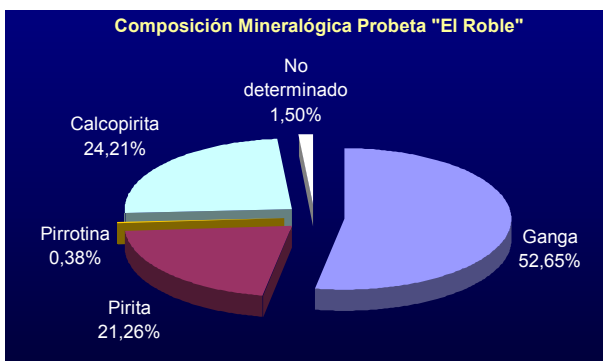
Según se puede comprobar en la literatura (vbgr. Berrezueta, 2004; Castroviejo *et al*, 2002), el riguroso control de los procesos de adquisición, tratamiento y clasificación de fases minerales mediante ADI (análisis digital de Imagen) permite la obtención de resultados fiables y reproducibles . Dado que el objetivo principal de este trabajo es presentar la potencialidad del método a la hora de cuantificar minerales, se abordará particularmente la cuantificación de parámetros y su importancia en la caracterización de dos situaciones muy diferentes: menas metálicas (mediante microscopía de reflexión) y áridos (mediante microscopio petrográfico).

**Tabla 1. Parámetros y cálculos a realizar sobre los granos minerales mediante ADI**

MEDIDAS MEDIANTE ANÁLISIS DIGITAL DE IMAGEN		
PARÁMETROS A MEDIR		RESULTADOS COMPLEMENTARIOS
<p><b>Geométricos</b></p> <p>Área Perímetro <i>Feret</i> max <i>Feret</i> min Diámetro min</p>	→	<p>Valores Estadísticos de los parámetros geométricos Curvas granulométricas Número de granos según rangos de tamaño % de granos según rangos de tamaño Curvas de relación entre parámetros geométricos Área Vs. Perímetro <i>Feret</i> max Vs. <i>Feret</i> min Área de granos según rangos de tamaño % Área de granos según rangos de tamaño</p>
<p><b>Morfológicos</b></p> <p><b>Circularidad</b> <i>Roundness</i> Variabilidad del Radio</p>	→	<p>Valores Estadísticos de los parámetros morfológicos Número y % de granos según parámetros de circularidad Área y % Área de granos según parámetros de circularidad</p>
<p><b>Factores de elongación</b> <i>Roundness Index</i> (con diámetro) <i>Roundness Index</i> (con <i>feret</i>)</p>	→	<p>Valores Estadísticos de los parámetros morfológicos Curvas de relación entre parámetros Número y % de granos según parámetros de elongación Área y % Área de granos según parámetros de elongación</p>
<p><b>Factores de Rugosidad</b> Variabilidad del Perímetro Dimensión Fractal</p>	→	<p>Valores Estadísticos de los parámetros morfológicos Número y % de granos según parámetros de elongación Área y % Área de granos según parámetros de elongación</p>

Estos parámetros permiten:

- La cuantificación mineralógica de la probeta estudiada. (Figura 2 a).
- La relación textural cuantificada entre minerales (como ejemplo: la calcopirita, mineral de interés económico, y la pirita, condicionante en la recuperación de cobre (Figura 2 b).
- La medida de parámetros geométricos sobre partículas minerales (Figura 3).
- La caracterización morfológica de los granos minerales (figura 4).



**Figura 2. Ejemplos de cuantificación automatizada mediante ADI: (a) Composición Mineralógica (análisis modal o % de Áreas) y (b) Asociación Mineral (Pirita –Calcopirita).**

- Medida de Parámetros Geométricos mediante ADI

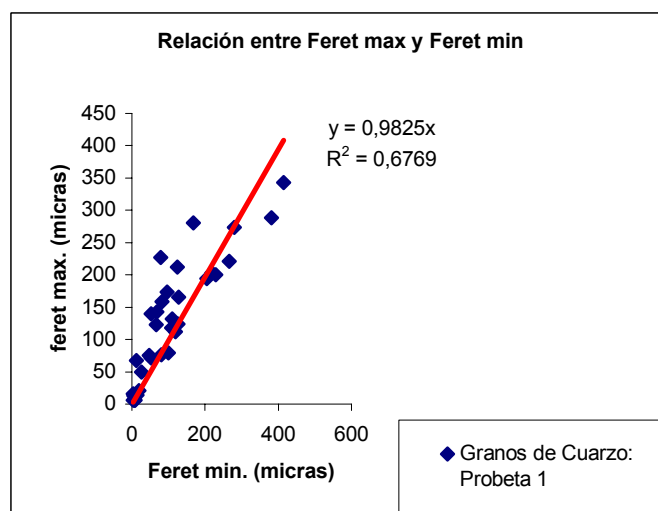
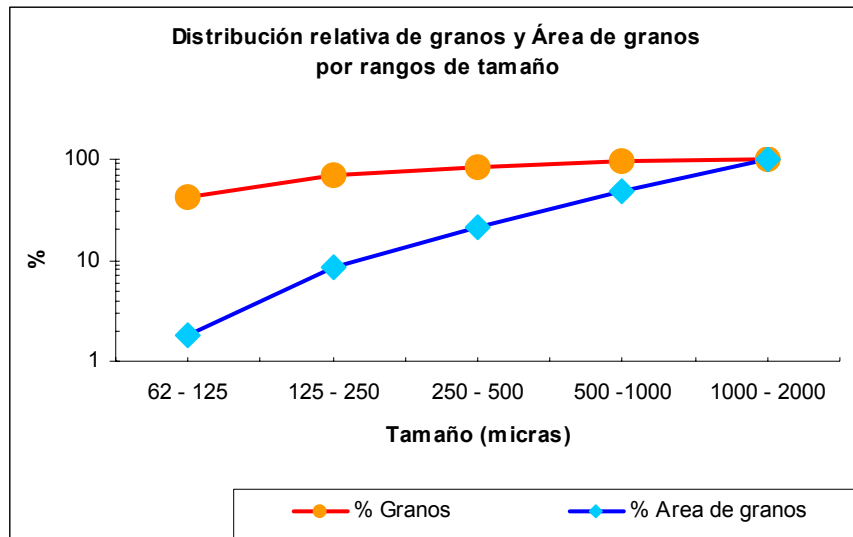
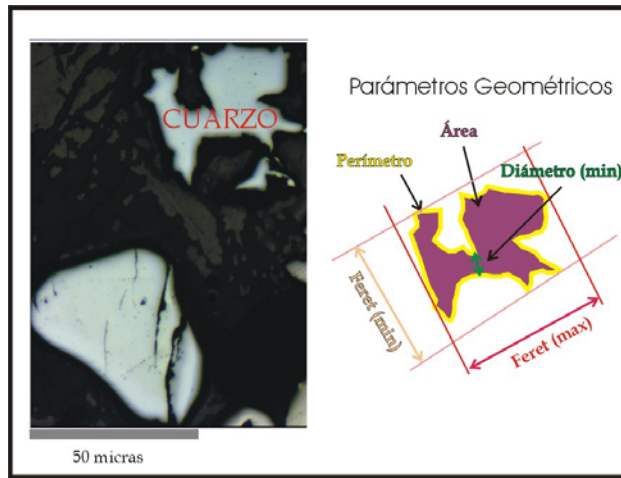


Figura 3. Visualización y ejemplo de medidas de parámetros geométricos mediante ADI.

- Medida de Parámetros Morfológicos mediante ADI

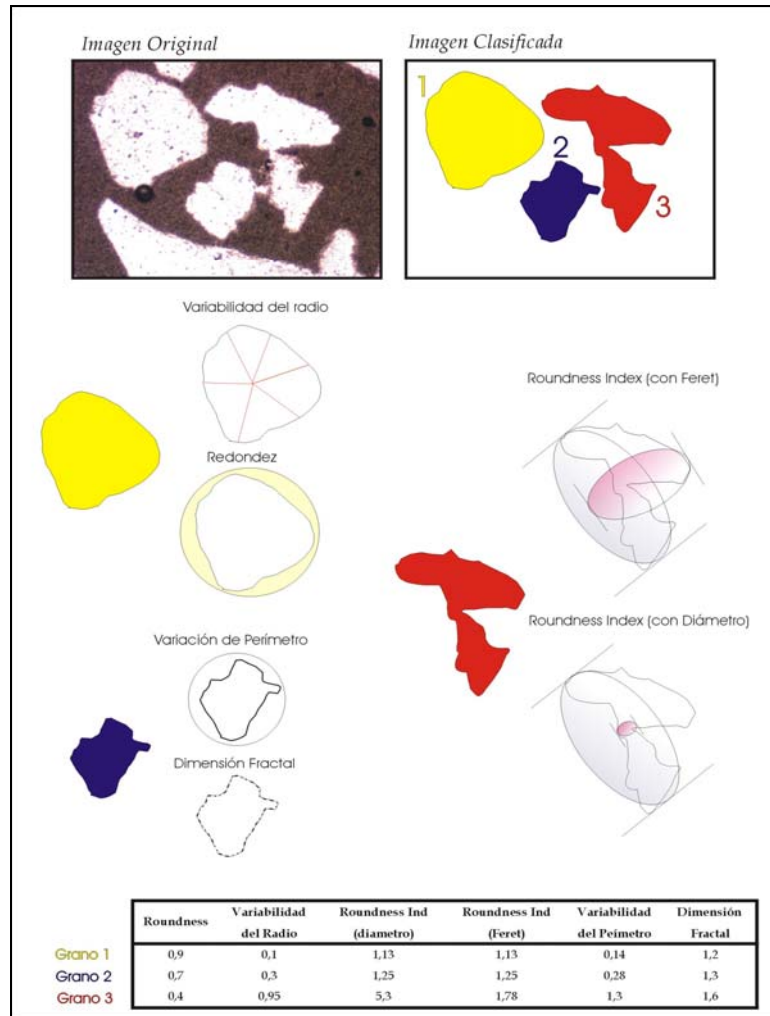


Figura 4. Visualización y ejemplo de medidas de parámetros morfológicos mediante ADI.

## CONCLUSIONES

El procedimiento planteado mediante ADI posee una gran ventaja frente a la clásica forma de abordar la cuantificación de granos minerales: permite una mayor versatilidad a la hora de ofrecer resultados cuantitativos debido a que hace posible multiplicar el número y el rango de medidas (tamaños de grano, superficies específicas, etc.) y, en el caso de granulometrías mixtas (gruesas y finas), facilita que todas ellas pueden ser tratadas conjuntamente y de forma óptima.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo realizado ha sido posible mediante la cofinanciación de los Proyectos GR92-0135, UE95-0007, UE98-0027. Así mismo, por el apoyo técnico del IGME durante la etapa de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Berrezueta, E. 2004. Caracterización de menas mediante Análisis Digital de Imagen. Investigación y diseño de un sistema experto aplicable a problemas mineros. *Tesis Doctoral*. E.T.S.I. de Minas. Univ. Politécnica de Madrid, 350 pp.
- Castroviejo, R., Berrezueta, E. y R. Lastra. (2002). Microscopic digital image analyses of gold ores. A critical test of the methodology, comparing Reflected Light and Electron Microscopy. 2002 *Mineral & Metallurgical Processing Journal*. VOL. 19 NO. 2. Denver, Colorado. 102-109.