

Muestreo y Cuantificación en Imágenes de Carbonizados

Char Images Sampling and Quantisation

Deisy Chaves, Ing.¹, Maria Trujillo, PhD.¹, Andrés Rojas, PhD.²

¹Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad del Valle, Colombia

²Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira
deisychs@univalle.edu.co, mtrujillo@univalle.edu.co, afrojasgo@unal.edu.co

Recibido para revisión 28 de Noviembre de 2007, aceptado 14 de Febrero de 2008, versión final 28 de Febrero de 2008

Resumen—La clasificación de carbonizados se realiza mediante la observación de las características morfológicas, tales como: número de poros, distribución de poros y espesor de pared. Para clasificar una muestra de carbonizados es necesario analizar aproximadamente 500 imágenes. Generalmente, las imágenes poseen gran resolución espacial 1300 x 1030 píxeles y las intensidades de luz están representadas utilizando 8 bits. En consecuencia, las aplicaciones que trabajan con imágenes de carbonizados requieren de gran capacidad de almacenamiento y procesamiento. En el presente artículo, se comparan distintas estrategias de submuestreo y cuantificación para reducir la resolución espacial y el número de bits utilizados para representar imágenes de partículas de carbonizados. Las estrategias probadas presentan excelentes resultados en cuanto a la reducción de la resolución espacial y el número de bits, con una mínima pérdida de información o detalles en las imágenes preprocesadas.

Palabras Clave—Aplicaciones, imágenes de partículas de carbonizados, preprocesamiento de imágenes, submuestreo, cuantificación.

Abstract—Char classification process is based on morphological characteristics, such as: number of pores, distribution of pores and wall thickness. Approximately, five hundred images have to be analysed in order to classify a char sample. Frequently, these images have high spatial resolution, 1300 x 1030 pixels, and intensity levels are represented using 8 bits. Thus, char image applications require large storage and processing capacity. In this paper, we compare different subsampling and quantisation strategies in order to reduce the spatial resolution and the number of bits used. Compared strategies showed excellent results in reducing spatial resolution and intensity levels, with minimal loss of information or details in processed images.

Keywords—Applications, char images, image pre-processing, subsampling, quantisation.

I. INTRODUCCIÓN

La clasificación de los carbonizados con base en su morfología se realiza generalmente en forma manual. El proceso de clasificación manual de carbonizados es subjetivo y requiere de mucho tiempo para el análisis por parte del experto, siendo necesario analizar al menos 500 partículas para clasificar una muestra de carbonizado.

Existen algunas propuestas para realizar una clasificación semiautomática de carbonizados [1] [2] [3] [6]. Actualmente se busca realizar el proceso de clasificación de una manera automática. Estas clasificaciones están basadas en el procesamiento de imágenes, donde se analiza cada una de las imágenes correspondientes a las partículas que conforman una muestra del carbonizado. Las imágenes son adquiridas con una cámara acoplada a un microscopio electrónico, en particular las imágenes tomadas en el Centro de Combustibles y Energía de la Escuela de Ingeniería Química, Ambiental y Minas (SCHEME), de la Universidad de Nottingham, son imágenes a color de alta resolución (1300 x 1030 píxeles) y están representadas utilizando 8 bits para cada canal de color. En consecuencia, las aplicaciones para la clasificación automática de carbonizados con base en sus características morfológicas requieren de gran espacio de almacenamiento y capacidad de procesamiento.

Una alternativa para reducir el espacio de almacenamiento es el uso de estrategias de submuestreo y cuantificación. Estas técnicas han sido usadas en varias aplicaciones de procesamiento de imágenes digitales [7] [8] [11], principalmente en los algoritmos de compresión de imágenes y video de los estándares JPEG y MPEG [10] [12].

Este trabajo está enmarcado dentro del desarrollo de un sistema de clasificación automática de carbonizados y corresponde a

una de las etapas en la fase de preprocesamiento. En este artículo se comparan diferentes estrategias de submuestreo y cuantificación con el fin de reducir el tamaño de las imágenes de carbonizados para un posterior análisis automático. En la comparación se utilizan, como medidas de preservación de características, la entropía de Shanon [9] [13] y el coeficiente de variación [14]. Se presentan resultados experimentales con doce imágenes de partículas de carbonizados.

En la sección II se presenta el problema y las técnicas de muestreo y cuantificación utilizadas. En la sección III se muestran los resultados obtenidos usando 12 imágenes de carbonizados. En la sección IV se presentan las conclusiones.

II. MUESTREO Y CUANTIFICACIÓN

En la clasificación de carbonizados se utilizan características morfológicas tales como: área, porosidad, número de poros, espesor medio de pared, la relación entre el ancho de la pared y el área de la partícula [5]. En la Figura 1 se ilustran los conceptos de poro y ancho de la pared en una imagen de una partícula de carbonizado.

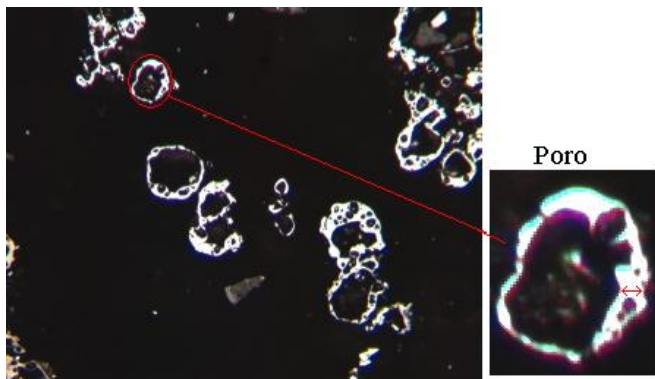


Fig. 1. Ilustración de un poro y su ancho de pared en una imagen de una partícula de carbonizado.

El proceso de digitalización de una imagen consta de dos procesos fundamentales: muestreo y cuantificación. El muestreo consiste en representar una imagen continua $f(x,y)$ mediante un conjunto de muestras - píxeles - igualmente espaciadas, representadas en forma matricial con dimensiones $N \times M$, como se indica en la Ecuación 1.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M - 1, 0) & f(M - 1, 1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

La cuantificación corresponde al número de bits (k) utilizados para representar la intensidad de luz y determina el número de niveles (L) que puede tomar cada uno de los píxeles en la imagen.

Donde:

$$L = 2^k, \quad (2)$$

indica que la imagen posee intensidades entre $[0, L-1]$.

El número de bits utilizados para representar las intensidades de luz y el tamaño de la matriz, $N \times M$ determinan la resolución (grado de detalle apreciado) de la imagen. Cuanto más se incrementan estos valores más se aproxima la imagen digitalizada a la imagen original. Sin embargo las necesidades de almacenamiento y procesamiento crecen rápidamente en función de N , M y k .

Dado que el número de bits (B) necesarios para almacenar una imagen están dados por:

$$B = N * M * k, \quad (3)$$

las imágenes digitales de carbonizados, imágenes a color que poseen una resolución espacial de 1300×1030 píxeles, con 8 bits para representar las intensidades de luz en cada canal de color requieren de $B = 32.136.000$ bits para su representación digital. Adicionalmente, en el proceso de clasificación es necesario procesar al menos 500 imágenes, lo cual exige gran capacidad de almacenamiento y procesamiento. Por esta razón se requieren estrategias de submuestreo que permitan reducir la resolución espacial de las imágenes y estrategias de cuantificación que permitan reducir el número de bits para representar las intensidades de luz, con el fin de reducir el tamaño de las imágenes digitales y hacer más eficiente el proceso de clasificación.

Las estrategias de submuestreo y de cuantificación, utilizadas en el preprocesamiento de las imágenes, deben preservar las características morfológicas requeridas para la clasificación, sin producir imágenes de menor calidad debido a la presencia de artefactos y "blurring".

A Submuestreo

Existen diferentes estrategias de submuestreo, a continuación se presentan las más comúnmente utilizadas. Consideramos un tamaño de la cuadrícula cuadrado, sin embargo es posible el uso de cuadrículas rectangulares dependiendo del dominio de la aplicación.

1) *Submuestreo Media*: Esta estrategia consiste en dividir la imagen digital original en una cuadrícula de lado d , de esta manera se busca distribuir uniformemente los píxeles de la imagen. El tamaño de la cuadrícula está directamente relacionado con el tamaño de la nueva imagen. Si la imagen original es de dimensiones $N \times M$ la imagen resultante después de aplicar el submuestreo media con una cuadrícula d es $N/d \times M/d$.

El valor en cada píxel (i, j) en la nueva imagen corresponde a la parte entera del valor de la media de los valores en los píxeles en la cuadrícula de lado d en la imagen original, como se ilustra en la Figura 2.

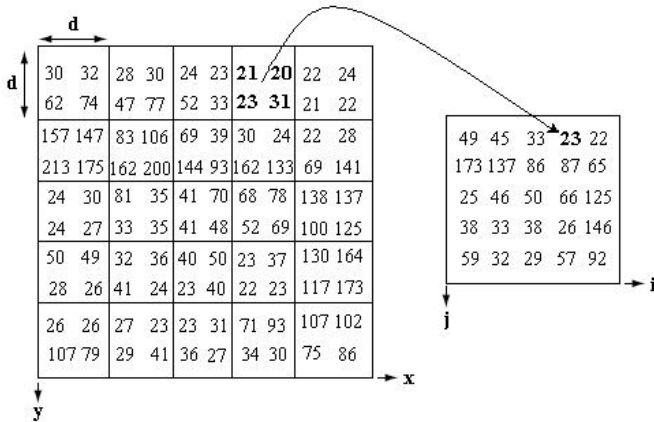


Fig. 2. Representación del submuestreo media con una cuadrícula de lado $d=2$.

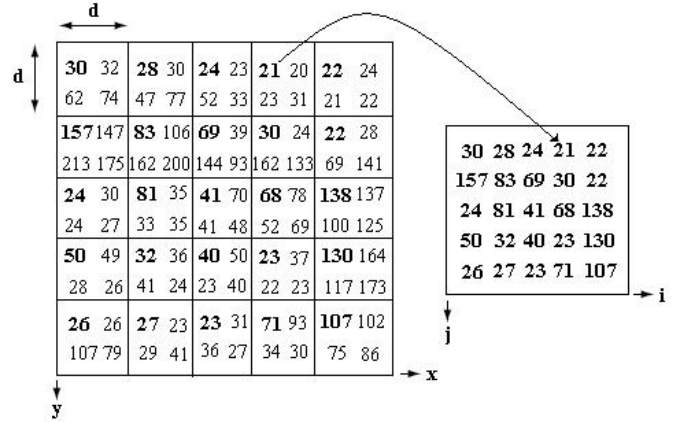


Fig. 4. Representación del submuestreo simple con una cuadrícula de lado $d=2$.

2) *Submuestreo Mediana*: Esta estrategia es muy similar al submuestreo media, la imagen original se divide en una cuadrícula de lado d , donde el tamaño de la cuadrícula esta relacionado con el tamaño de la nueva imagen. Si la imagen original es de $N \times M$ la imagen resultante después de aplicar el submuestreo con una cuadrícula d es $N/d \times M/d$.

El valor en cada píxel (i, j) en la nueva imagen corresponde al valor de la mediana de los valores en los píxeles en la cuadrícula de lado d en la imagen original, como se ilustra en la Figura 3.

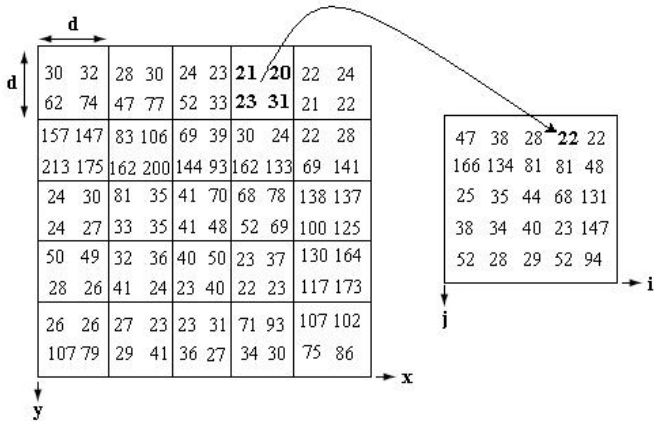


Fig. 3. Representación del submuestreo mediana con una cuadrícula de lado $d=2$.

3) *Submuestreo Simple*: En esta estrategia, al igual que en el submuestreo media y mediana, se divide la imagen original en una cuadrícula de lado d , el tamaño de la cuadrícula esta relacionado con el tamaño de la nueva imagen. Si la imagen original es de dimensiones $N \times M$ la imagen resultante después de aplicar el submuestreo con una cuadrícula d es $N/d \times M/d$.

El valor de cada píxel (i, j) en la nueva imagen corresponde al valor del píxel (x, y) en la coordenada superior izquierda en la cuadrícula de lado d en la imagen original, como se ilustra en la Figura 4.

B. Cuantificación

La cuantificación permite reducir el número de bits utilizados para representar las intensidades de luz en una imagen digital. La reducción de los niveles se realiza de manera homogénea calculando la nueva intensidad para cada píxel de la imagen como:

$$\text{Nueva intensidad} = \lfloor \text{intensidad anterior} / \text{factor} \rfloor \quad (4)$$

El factor esta relacionado directamente con la nueva escala de intensidades en la imagen. Si la imagen original esta representada usando intensidades en el rango $[0, L-1]$, la imagen resultante - usando un factor dado- usa intensidades en el rango $[0, (L-1)/\text{factor}]$. En la Tabla I se ilustra el proceso de cuantificación usando un factor de 2.

TABLA I.
CUANTIFICACIÓN DE UNA IMAGEN DE 8 BITS CON UN FACTOR = 2.

INTENSIDAD	NUEVA INTENSIDAD
255	127
254	
253	126
252	
...	...
1	0
0	

C. Preservación de Características

Con el fin de cuantificar posibles pérdidas de información en el proceso de submuestreo y cuantificación, se utilizan la entropía de Shannon normalizada [13] y el coeficiente de variación [14].

La entropía normalizada se calcula como:

$$H_N(I_j) = \frac{H(I_j)}{H(I_j)_{\text{Máxima}}}, \quad (5)$$

con $j \in \{R, G, B\}$. $H(I_j)$ representa la entropía de Shannon, calculada en el j -ésimo canal de color en la imagen:

$$H(I_j) = \sum_{i=0}^L p_j(i) * \log_2 \left(\frac{1}{p_j(i)} \right), \quad (6)$$

donde L corresponde al número de intensidades de luz en la imagen; $p_j(i)$ es la frecuencia relativa de la intensidad i en el j -ésimo canal de color de la imagen.

$H(I_j)$ Máxima es la máxima entropía en el j -ésimo canal de color de la imagen, definida como:

$$H(I_j) \text{ Máxima} = \log_2(L). \quad (7)$$

El coeficiente de variación es utilizado como una medida de variabilidad. El coeficiente de variación, en el j -ésimo canal de color de la imagen, se calcula como:

$$CV(I_j) = \frac{S(I_j)}{\bar{I}_j}, \quad (8)$$

donde $S(I_j)$ corresponde a la desviación estándar de las intensidades en el j -ésimo canal de color de la imagen y \bar{I}_j corresponde al promedio de las intensidades en el j -ésimo canal de color de la imagen.

III. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

Las imágenes de partículas de carbonizados utilizadas para la evaluación experimental, de las estrategias de submuestreo y cuantificación descritas en la sección II, han sido obtenidas en el Centro de Combustibles y Energía de la Escuela de Ingeniería Química, Ambiental y Minas (SCHEME) de la Universidad de Nottingham. La imagen de carbonizado esta representada en el espacio de color RGB, utilizando 8 bits en cada canal de color y con una resolución espacial de 1300 x 1030 píxeles.

Las estrategias de submuestreo y cuantificación, explicadas anteriormente, se implementaron utilizando el lenguaje de programación C++. Se compararon las estrategias de submuestreo media, mediana y simple con $d = \{2, 4\}$ y de cuantificación utilizando valores del $factor = \{2, 4, 8\}$. Al final de la sección se presentan los resultados obtenidos con 12 imágenes de carbonizados, ver Figura 5.

En general, al aplicar las estrategias de submuestreo con $d=2$ y manteniendo constante la cuantificación en 8 bits, en cada canal de color, se obtienen como resultado imágenes de 650x515 píxeles, la mitad de la imagen original (1300 x 1030 píxeles). De manera similar, al aplicar las estrategias de submuestreo con $d=4$ a la imagen, se obtiene como resultado imágenes de 325x257 píxeles, la cuarta parte de la imagen original (1300 x 1030 píxeles). En la Figura 7 se muestran las imágenes obtenidas, usando las estrategias de submuestreo con $d=\{2,4\}$.

TABLA II.
TAMAÑO DE LOS ARCHIVOS USANDO SUBMUESTREO.

CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN		TAMAÑO DEL ARCHIVO	
ESTRATEGIA DE SUBMUESTREO O UTILIZADA	RESOLUCIÓN ESPACIAL	FORMATO CON COMPRESIÓN JPG	FORMATO SIN COMPRESIÓN PPM
Ninguna	1300x1030	500KB	12MB
Media $d=2$	650 x 515	36KB	3MB
Media $d=4$	325 x 257	14KB	752KB
Mediana $d=2$	650 x 515	36KB	3MB
Mediana $d=4$	325 x 257	14KB	751KB
Simple $d=2$	650 x 515	37KB	3MB
Simple $d=4$	325 x 257	15KB	751KB

En la Tabla II se muestran el tamaño del archivo resultante después de aplicar las diferentes estrategias de submuestreo a la imagen No.1, usando formatos JPG y PPM.

A pesar de que en un formato con compresión, como JPG, las imágenes de carbonizados poseen un menor tamaño, para este tipo de aplicaciones son de mayor interés los resultados observados con un formato sin compresión, como PPM.

Al aplicar la estrategia de cuantificación con $factor=2$ y manteniendo constante la resolución espacial en 1300x1030 píxeles, la imagen resultante utiliza $K=7$ bits, por lo tanto el número de valores para representar las intensidades en cada canal de color es $L=128$, lo cual corresponde a la mitad del número de valores para representar las intensidades que se utiliza en la imagen original $L=256$, de 8 bits. De manera similar al aplicar la estrategia de cuantificación con $factor=4$ la imagen resultante utiliza $K=6$ bits, en este caso el número de valores para representar las intensidades que pueden tomar los píxeles para cada canal de color es $L=64$, correspondiendo a la cuarta parte del número de valores para representar las intensidades en la imagen original. Igualmente, al aplicar la estrategia de cuantificación con $factor=8$ la imagen resultante utiliza $K=5$ bits, en este caso el número de valores para representar las intensidades que pueden tomar los píxeles para cada canal de color es $L=32$, siendo la octava parte del número de valores para representar las intensidades en la imagen original. En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos usando 8, 7, 6 y 5 bits para representar las intensidades.

En la Tabla III se muestra el tamaño del archivo resultante después de aplicar la estrategia de cuantificación a la imagen No.1, usando formatos JPG y PPM.

TABLA III.
TAMAÑO DE LOS ARCHIVOS USANDO CUANTIFICACIÓN.

CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN			TAMAÑO DEL ARCHIVO	
CUANTIFICACIÓN	<i>k</i> BITS	<i>L</i>	FORMATO CON COMPRESIÓN JPG	FORMATO SIN COMPRESIÓN PPM
<i>factor</i> =1	8	256	500KB	12MB
<i>factor</i> =2	7	128	109KB	11,3MB
<i>factor</i> =4	6	64	112KB	8,13MB
<i>factor</i> =8	5	32	121KB	7,96MB

Mediante una valoración visual de los resultados en las Figuras 6 y 7, y apoyados en el juicio del experto en carbonizados, se concluye que al aplicar las diferentes estrategias de submuestreo y/o cuantificación en las imágenes no se aprecia, de forma visual, pérdida de información o detalles en la imagen.

De igual forma, al aplicar las diferentes estrategias de submuestreo y cuantificación en 12 imágenes de carbonizados no se observa, de forma visual, pérdida de información. Esta primera evaluación indica que es posible reducir el tamaño de los archivos mediante el uso de las estrategias antes mencionadas.

Con el propósito de evaluar cuantitativamente el efecto que tiene el uso de las estrategias de submuestreo y cuantificación, en las imágenes de carbonizado, se calcula el cambio en la entropía de Shannon normalizada y el cambio en el coeficiente de variación en cada canal de color.

Sean I_j la imagen original y G_j la imagen resultante del uso de una estrategia de submuestreo y/o cuantificación, con $j \in \{R, G, B\}$. El cambio porcentual en la entropía de Shannon normalizada esta dado por:

$$H_N(I_j|G_j) = \frac{H_N(I_j) - H_N(G_j)}{H_N(I_j)} \times 100\% \quad (9)$$

El cambio porcentual en el coeficiente de variación se calcula como:

$$CV(I_j|G_j) = \frac{CV(I_j) - CV(G_j)}{CV(I_j)} \times 100\% \quad (10)$$

En los diagramas de cajas de las figuras 8 y 9 se presenta un resumen de los resultados obtenidos con las estrategias de submuestreo, fijando $d=2$, en las 12 imágenes de prueba, usando el cambio porcentual en la entropía de Shannon normalizada y el cambio porcentual en el coeficiente de variación.

En los diagramas de cajas de las figuras 10 y 11 se muestran los resultados obtenidos con las estrategias de submuestreo, fijando $d=4$, a las 12 imágenes de prueba, usando el cambio porcentual en la entropía de Shannon normalizada y el cambio porcentual en el coeficiente de variación.

En los diagramas de cajas de las figuras 8 a la 11, se observa que los resultados de las distintas técnicas de submuestreo tienen un comportamiento similar para ambas medidas. En el diagrama de cajas para el cambio porcentual de la entropía Shannon normalizada cuando la resolución espacial se reduce a la mitad (650 x 515 píxeles) se observa que la estrategia de submuestreo simple es la que da mejores resultados, debido a que posee menor variabilidad con respecto a la imagen original (1300x1030 píxeles). Se presenta un outlier o punto atípico en el canal azul del submuestreo simple. Este punto corresponde a la imagen de prueba No. 3 de la figura 5. Al examinar la imagen de prueba No. 3 observamos que es una imagen borrosa. La borrosidad ocurre principalmente debido a la falta de pulido en la muestra de carbonizado del que se obtiene la imagen. Cuando la resolución espacial se reduce a la cuarta parte (325x257 píxeles), se observa en el diagrama de cajas que la estrategia de submuestreo que presenta una menor variabilidad en los resultados es el submuestreo simple, en este caso se presentan dos outliers en el canal verde del submuestreo media. Estos puntos corresponden a las imágenes de prueba No. 3 y No.9.

Por otra parte, el cambio porcentual del coeficiente de variación en las imágenes obtenidas con las estrategias de submuestreo es bastante alto, esto indica que al aplicar estas estrategias la información en la imagen tiende a ser más homogénea. Se observan outliers en los tres canales de color para las distintas estrategias de submuestreo. Estos puntos corresponden a las imágenes de prueba No. 3, No. 5, No.6 y No. 9 cuando se reduce la resolución espacial a la mitad y a las imágenes de prueba No. 3, No. 5 y No. 6 cuando se reduce la resolución espacial a la a la cuarta parte. La estrategia que da mejores resultados es el submuestreo simple.

En los diagramas de cajas de las figuras 12 y 13 se presentan los resultados obtenidos con la estrategia de cuantificación, $factor = \{2, 4, 8\}$, en las 12 imágenes de prueba.

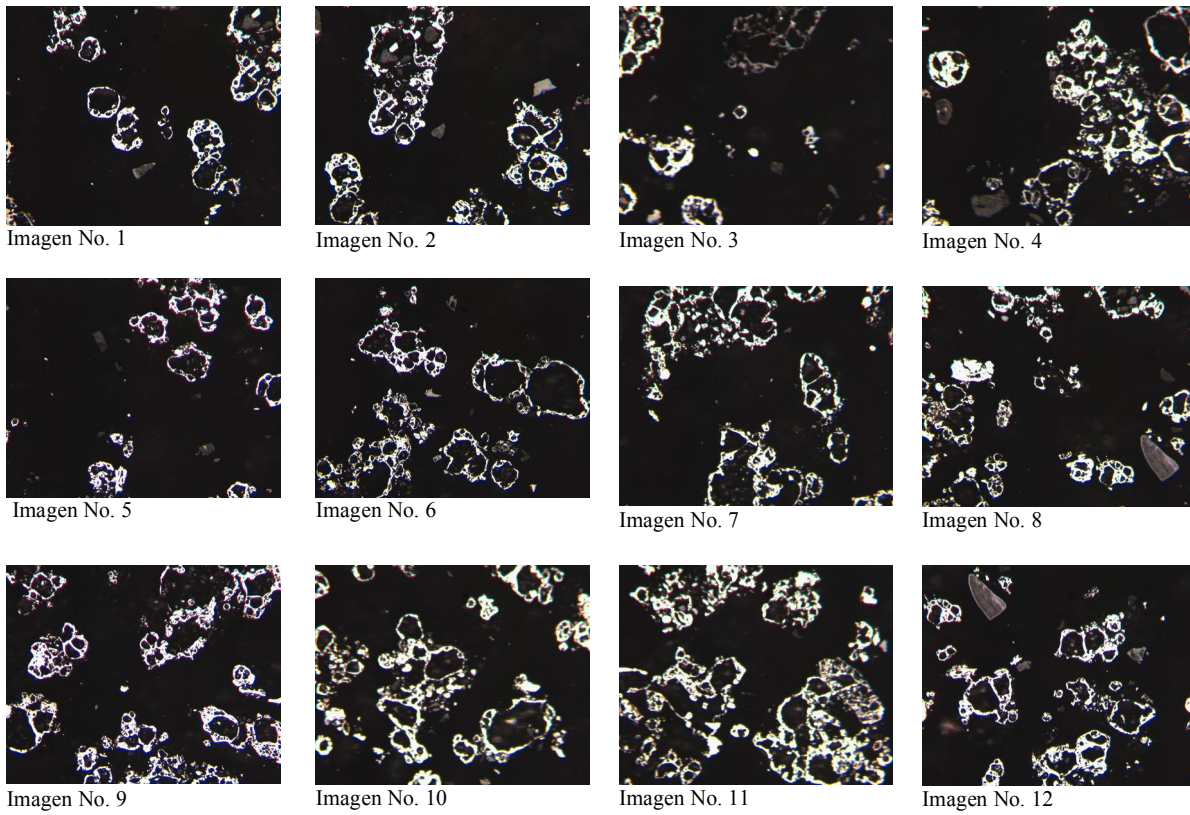
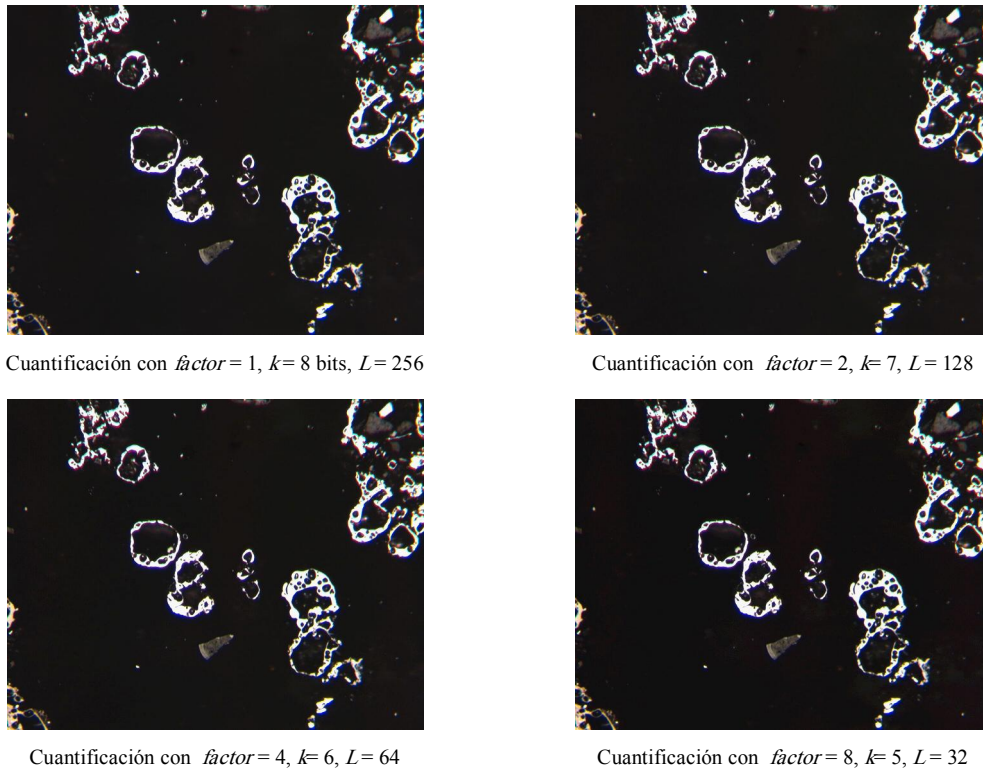


Fig. 5. Imágenes de carbonizados utilizadas en la evaluación experimental.

Fig. 6. Imágenes obtenidas con la estrategia de cuantificación usando un $factor = \{1, 2, 4, 8\}$ en la imagen No. 1.

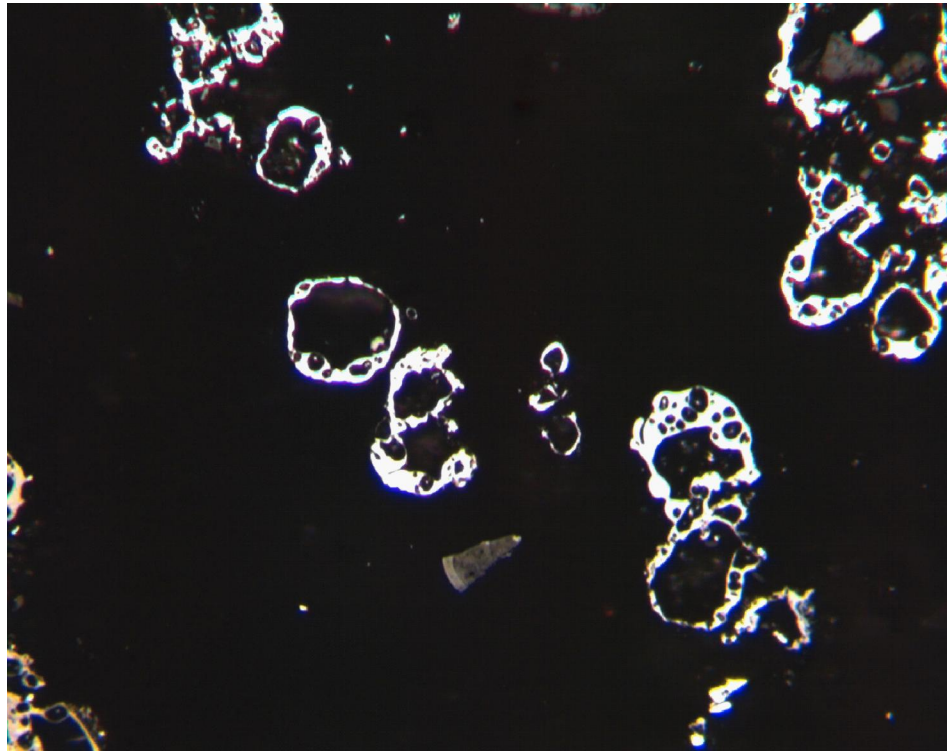
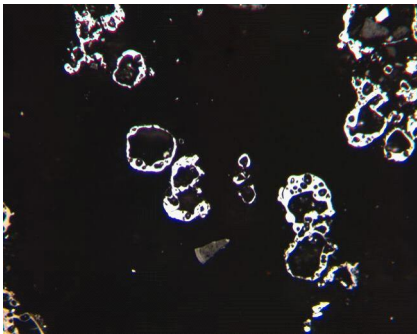
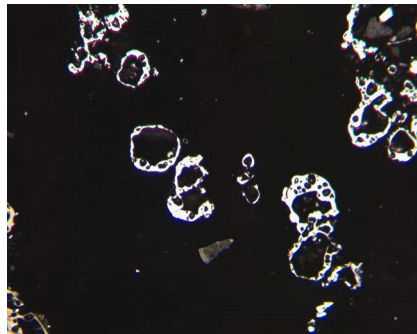


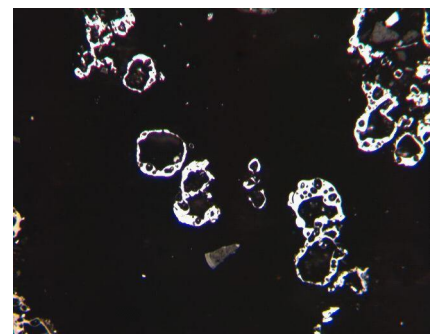
Imagen No.1 de carbonizado (1300 x 1030 píxeles)



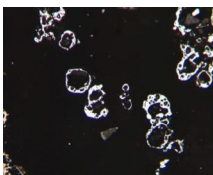
Submuestreo media con $d=2$
(650 x 515 píxeles)



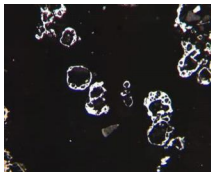
Submuestreo mediana con $d=2$
(650 x 515 píxeles)



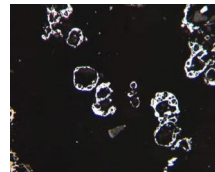
Submuestreo simple con $d=2$
(650 x 515 píxeles)



Submuestreo media con $d=4$
(325 x 257 píxeles)



Submuestreo mediana con $d=4$
(325 x 257 píxeles)



Submuestreo simple con $d=4$
(325 x 257 píxeles)

Fig. 7. Imágenes resultantes usando distintas estrategias de submuestreo con $d= \{2,4\}$ en la imagen No.1.

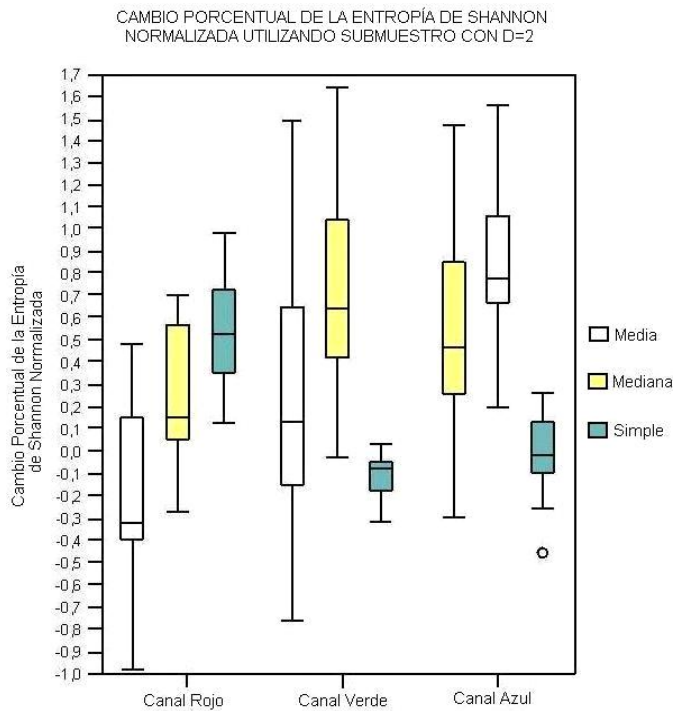


Fig. 8. Diagrama de cajas del Cambio Porcentual de la Entropía de Shannon Normalizada para cada canal de color, usando las estrategias de submuestreo media, mediana y simple con $d = 2$.

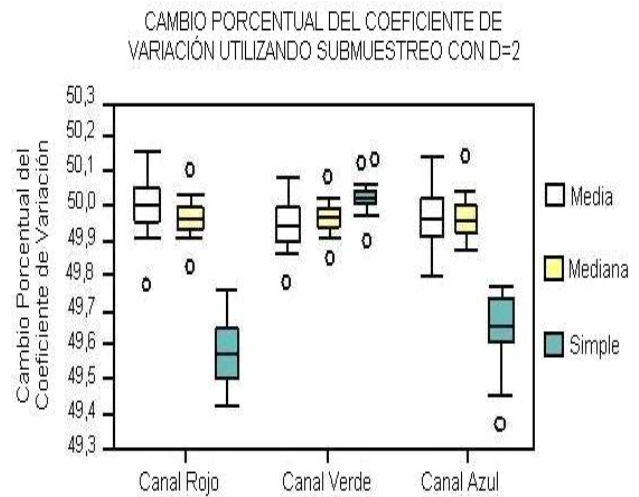


Fig. 9. Diagrama de cajas del Cambio Porcentual del Coeficiente de Variación para cada canal de color, usando las estrategias de submuestreo media, mediana y simple con $d = 2$.

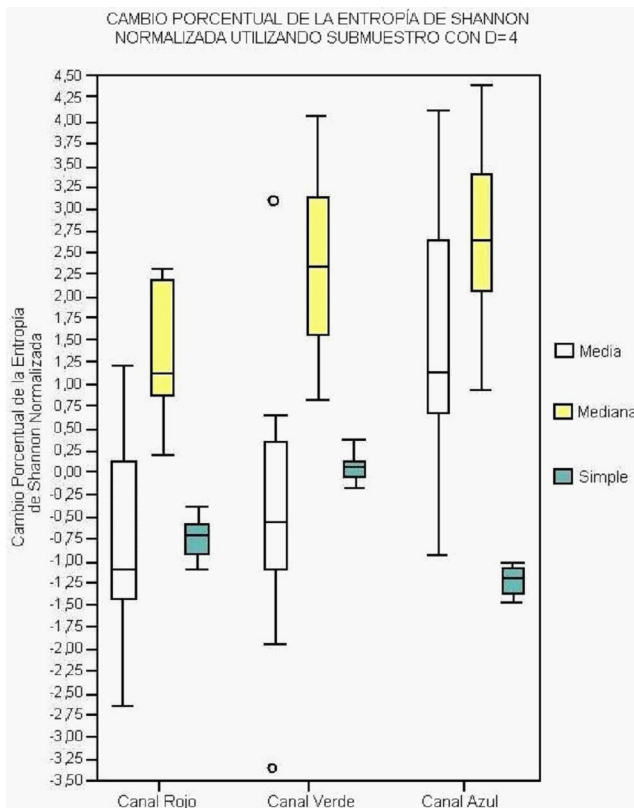


Fig. 10. Diagrama de cajas del Cambio Porcentual de la Entropía de Shannon Normalizada para cada canal de color, usando las estrategias de submuestreo media, mediana y simple con $d = 4$.

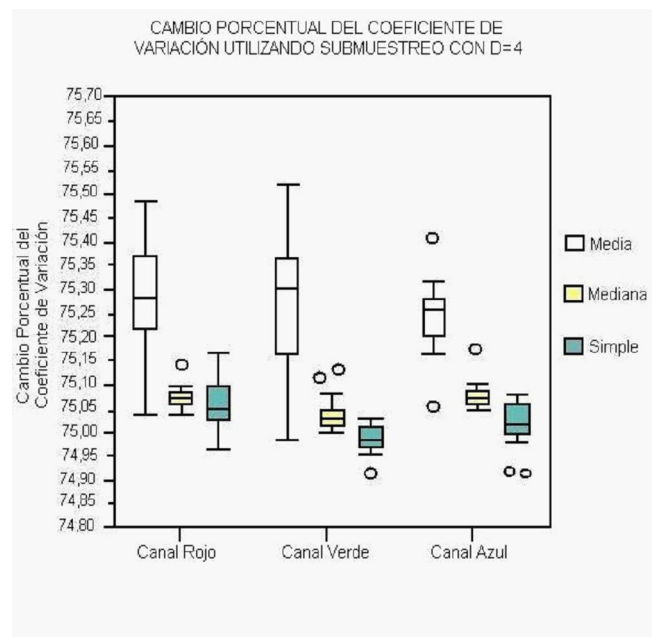


Fig. 11. Diagrama de cajas del Cambio Porcentual del Coeficiente de Variación para cada canal de color, usando las estrategias de submuestreo media, mediana y simple con $d = 4$.

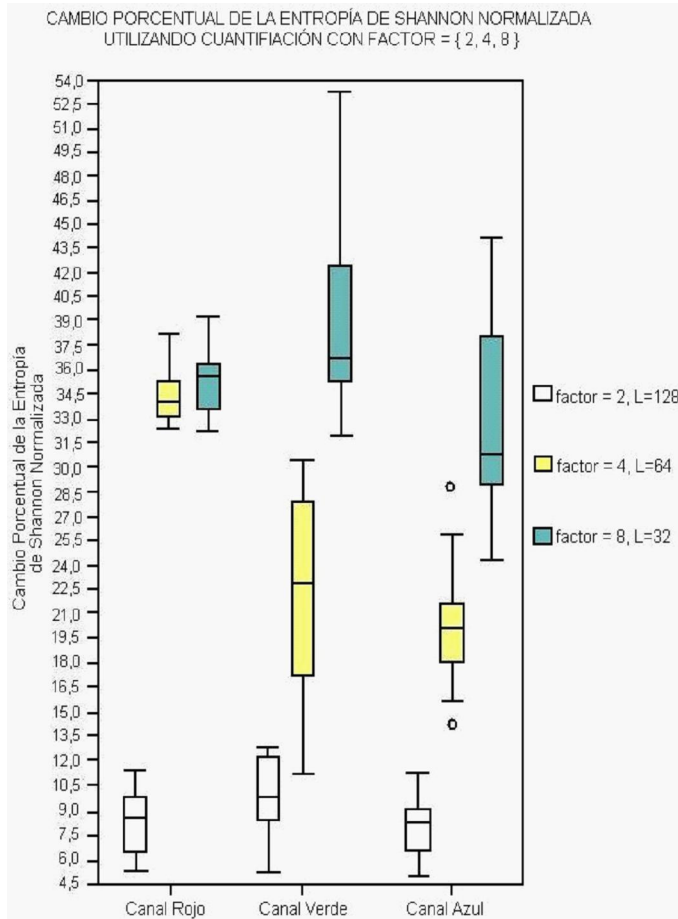


Fig. 12. Diagrama de cajas del Cambio Porcentual de la Entropía de Shannon Normalizada para cada canal de color, usando la estrategia de cuantificación con $\text{factor} = \{2,4,8\}$.

Al cuantificar en cada canal de color, los valores obtenidos de cambio porcentual de la entropía de Shannon normalizada muestran una mayor variabilidad en comparación con la imagen original (con 8 bits para representar las intensidades de color). En el diagrama de cajas, en la figura 12, del canal azul se observan dos outliers, para el $\text{factor} = 4$. Estos corresponden a las imágenes de prueba No.5 y No.11. El cambio porcentual del coeficiente de variación, en la figura 13, presenta valores superiores a los de la imagen original. En este caso, en el diagrama de cajas se observan outliers en los tres canales de color. Estos corresponden a las imágenes de prueba No. 3, No. 5, No. 9 y No. 11. Los resultados en las figuras 12 y 13, muestran que cuantificar con un $\text{factor}=2$ genera los cambios porcentuales de menor magnitud y mas homogéneos.

Los valores de cambio porcentual de la entropía de Shannon y el coeficiente de variación se presenta en las Tablas IV a IX.

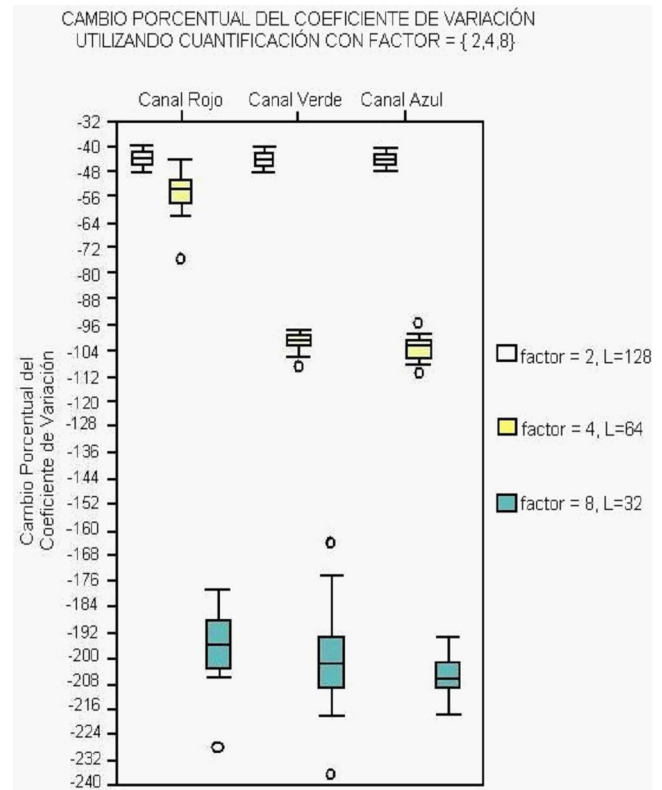


Fig. 13. Diagrama de cajas del Cambio Porcentual del Coeficiente de Variación para cada canal de color, usando la estrategia de cuantificación con $\text{factor} = \{2,4,8\}$.

Mediante el uso de la estrategia de cuantificación planteada es posible disminuir el número de bits (k) utilizados para representar las intensidades (L) en la imagen. La disminución del número de intensidades en la imagen es de 256 a: 128 ($\text{factor} = 2$), 64 ($\text{factor} = 4$) o 32 ($\text{factor} = 8$), logrando con esto una reducción en el tamaño de los archivos. Sin embargo, la cuantificación mantiene constante el tamaño de la imagen (1300x1030) y por ello tiene un menor porcentaje de reducción del tamaño de los archivos.

La implementación de las diferentes estrategias de submuestreo y la estrategia de cuantificación se realiza de manera sencilla. El submuestreo mediana es la estrategia más costosa computacionalmente, debido a la necesidad de ordenar los valores de intensidades en la cuadrícula, de lado d , para el cálculo de la mediana. El submuestreo simple es la estrategia menos costosa computacionalmente.

TABLA IV.
CAMBIO PORCENTUAL DE LA ENTROPÍA DE SHANNON NORMALIZADA USANDO SUBMUESTREO CON D = 2.

IMAGEN DE PRUEBA No.	CANAL ROJO			CANAL VERDE			CANAL AZUL		
	SUBMUESTREO			SUBMUESTREO			SUBMUESTREO		
	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %
1	0,21	0,62	0,36	0,63	1,10	-0,21	1,01	1,22	-0,08
2	-0,36	0,14	0,61	-0,18	0,48	-0,10	0,27	0,69	0,02
3	0,49	0,70	0,45	1,49	1,63	-0,03	1,49	1,56	-0,48
4	-0,32	0,06	0,60	0,02	0,40	-0,05	0,49	0,71	0,15
5	0,26	0,58	0,09	0,77	1,05	-0,31	1,25	1,37	-0,27
6	0,12	0,56	0,28	0,77	1,34	-0,19	0,80	1,02	-0,04
7	-0,35	0,07	0,91	-0,03	0,43	-0,12	0,65	0,93	-0,04
8	-0,26	0,25	0,70	0,42	1,00	-0,03	0,46	0,80	-0,16
9	-0,99	-0,28	0,31	-0,79	0,08	-0,28	-0,30	0,20	0,27
10	-0,47	0,03	0,82	-0,16	0,34	-0,05	0,24	0,63	0,12
11	-0,81	-0,26	0,99	-0,58	-0,02	-0,04	-0,15	0,30	0,27
12	-0,37	0,16	0,45	0,23	0,81	-0,08	0,36	0,75	0,07

TABLA V.
CAMBIO PORCENTUAL DE L COEFICIENTE DE VARIACIÓN USANDO SUBMUESTREO CON D = 2.

IMAGEN DE PRUEBA No.	CANAL ROJO			CANAL VERDE			CANAL AZUL		
	SUBMUESTREO			SUBMUESTREO			SUBMUESTREO		
	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %
1	50,03	50,00	49,51	49,97	49,97	50,03	49,97	49,99	49,54
2	50,06	50,01	49,54	50,02	49,97	50,01	50,02	49,98	49,65
3	49,82	49,90	49,53	49,79	49,88	49,99	49,77	49,86	49,74
4	49,92	49,94	49,64	49,89	49,94	50,01	49,87	49,93	49,64
5	50,00	49,99	49,45	49,93	49,98	49,96	49,95	50,01	49,45
6	50,14	50,06	49,58	50,07	50,02	50,05	50,15	50,12	49,36
7	49,97	49,98	49,44	49,93	49,95	50,00	49,93	49,93	49,69
8	50,00	50,00	49,49	49,96	49,96	50,00	49,96	49,95	49,73
9	50,15	50,04	49,76	50,08	50,01	50,06	50,11	50,03	49,65
10	49,94	49,96	49,66	49,91	49,94	50,01	49,88	49,91	49,74
11	49,98	49,98	49,67	49,96	49,96	50,00	49,94	49,94	49,74
12	50,04	50,00	49,64	50,00	49,97	50,00	50,01	49,98	49,63

TABLA VI.
CAMBIO PORCENTUAL DE LA ENTROPÍA DE SHANNON NORMALIZADA USANDO SUBMUESTREO CON D = 4.

IMAGEN DE PRUEBA NO.	CANAL ROJO			CANAL VERDE			CANAL AZUL		
	SUBMUESTREO			SUBMUESTREO			SUBMUESTREO		
	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %
1	0,29	2,27	-0,64	0,23	3,11	0,02	3,20	4,03	-1,14
2	-1,44	1,04	-0,78	-1,45	1,88	0,14	0,77	2,40	-1,23
3	1,21	2,28	-0,41	3,06	4,07	-0,11	4,19	4,42	-1,45
4	-1,09	0,82	-0,77	-0,42	1,54	0,01	0,86	2,16	-1,10
5	0,57	2,21	-0,42	0,65	2,98	0,19	3,89	4,46	-1,02
6	0,09	2,28	-0,66	0,48	3,58	0,27	2,52	3,25	-1,10
7	-1,23	0,98	-0,80	-0,85	1,65	0,05	1,40	2,71	-1,22
8	-0,98	1,38	-0,85	0,25	3,14	-0,12	1,21	2,60	-1,37
9	-2,62	0,70	-0,60	-3,47	1,34	0,41	-0,29	1,70	-0,91
10	-1,40	0,92	-0,86	-0,92	1,42	-0,05	0,13	1,80	-1,50
11	-2,26	0,23	-1,09	-1,92	0,70	-0,02	-0,95	0,91	-1,26
12	-1,28	1,31	-0,49	-0,59	2,67	0,17	1,17	2,68	-1,26

TABLA VII
CAMBIO PORCENTUAL DE L COEFICIENTE DE VARIACIÓN USANDO SUBMUESTREO CON D = 4.

IMAGEN DE PRUEBA NO.	CANAL ROJO			CANAL VERDE			CANAL AZUL		
	SUBMUESTREO			SUBMUESTREO			SUBMUESTREO		
	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %	MEDIA %	MEDIANA %	SIMPLE %
1	75,37	75,10	75,11	75,36	75,05	75,00	75,27	75,09	74,90
2	75,38	75,07	75,05	75,36	75,05	74,98	75,32	75,08	75,00
3	75,04	75,05	74,97	74,99	75,03	74,98	75,05	75,07	75,03
4	75,18	75,06	75,10	75,12	75,03	75,01	75,20	75,08	75,00
5	75,27	75,09	75,19	75,35	75,08	74,97	75,17	75,08	74,91
6	75,50	75,15	75,00	75,53	75,13	74,93	75,40	75,19	75,06
7	75,28	75,09	75,11	75,21	75,05	74,99	75,26	75,09	75,01
8	75,31	75,09	75,05	75,26	75,05	75,01	75,27	75,10	75,06
9	75,41	75,07	75,04	75,50	75,06	74,97	75,30	75,07	74,99
10	75,18	75,05	75,05	75,13	75,03	75,03	75,20	75,07	75,06
11	75,23	75,07	75,09	75,17	75,03	75,03	75,25	75,08	75,06
12	75,33	75,07	75,03	75,34	75,05	74,99	75,27	75,08	75,03

TABLA VIII.

CAMBIO PORCENTUAL DE LA ENTROPÍA DE SHANNON NORMALIZADA USANDO CUANTIFICACIÓN CON FACTOR = {2, 4, 8}.

IMAGEN DE PRUEBA No.	CANAL ROJO			CANAL VERDE			CANAL AZUL		
	FACTOR CUANTIZACIÓN			SUBMUESTREO			SUBMUESTREO		
	2 %	4 %	8 %	2 %	4 %	8 %	2 %	4 %	8 %
1	11,22	36,74	35,88	13,15	29,40	50,22	10,61	24,46	43,78
2	8,67	33,33	36,12	10,32	23,54	39,72	8,34	21,00	34,72
3	10,58	34,91	33,50	12,08	29,26	41,10	11,45	25,98	38,70
4	6,43	32,65	32,53	7,22	17,18	34,39	6,61	16,49	29,09
5	11,75	37,94	39,39	14,37	30,47	53,18	11,77	28,58	43,48
6	10,33	36,63	35,83	12,11	27,86	49,36	8,56	20,90	38,38
7	8,33	33,87	36,17	9,37	21,38	36,48	8,28	19,55	30,08
8	8,44	33,11	33,60	9,66	22,74	36,01	8,38	20,55	31,62
9	6,81	34,07	35,39	9,01	17,81	38,34	5,88	18,61	28,07
10	6,76	34,68	37,59	7,40	14,71	33,20	6,59	15,52	27,73
11	4,87	34,72	37,08	5,26	10,82	32,29	4,67	12,07	24,36
12	8,44	33,04	33,21	9,77	22,65	36,46	8,07	20,73	30,87

TABLA IX.

CAMBIO PORCENTUAL DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN USANDO CUANTIFICACIÓN CON FACTOR = {2, 4, 8}.

IMAGEN DE PRUEBA No.	CANAL ROJO			CANAL VERDE			CANAL AZUL		
	FACTOR CUANTIZACIÓN			SUBMUESTREO			SUBMUESTREO		
	2 %	4 %	8 %	2 %	4 %	8 %	2 %	4 %	8 %
1	-42,84	-44,74	-176,16	-42,93	-100,15	-175,55	-42,89	-103,23	-193,84
2	-42,64	-50,58	-186,84	-42,71	-101,32	-189,32	-42,68	-104,56	-200,10
3	-42,81	-52,37	-192,24	-42,88	-101,19	-208,27	-42,91	-100,38	-208,49
4	-42,49	-61,40	-207,57	-42,54	-102,41	-214,14	-42,57	-103,05	-207,47
5	-42,93	-45,13	-176,65	-43,07	-99,13	-166,24	-42,95	-102,43	-193,86
6	-42,78	-49,64	-190,50	-42,89	-99,44	-194,82	-42,79	-104,02	-210,73
7	-42,60	-53,17	-190,86	-42,65	-101,98	-199,32	-42,65	-103,04	-200,26
8	-42,62	-54,85	-197,69	-42,67	-101,96	-204,30	-42,63	-104,18	-204,66
9	-42,47	-59,60	-204,81	-42,57	-101,86	-199,76	-42,44	-107,67	-214,23
10	-42,39	-62,02	-203,27	-42,45	-104,21	-218,20	-42,50	-102,81	-207,86
11	-42,24	-76,61	-228,02	-42,27	-105,70	-239,34	-42,30	-103,95	-218,69
12	-42,60	-54,43	-195,99	-42,68	-102,24	-200,55	-42,61	-104,90	-205,94

IV. CONCLUSIONES

El uso de técnicas de preprocesamiento de imágenes de carbonizados permite reducir la resolución espacial y el número de bits usados para representar las intensidades sin incurrir en una alta pérdida de información, brindando una mayor rapidez en la etapa de procesamiento de las imágenes.

En general, las distintas estrategias de submuestreo (manteniendo constante en 8 el número de bits), presentan pequeñas diferencias en los valores de la entropía de Shannon normalizada. Sin embargo, se observan diferencias en los valores del coeficiente de variación con respecto a la imagen original debido a que los datos en la nueva imagen son más homogéneos.

Al aplicar la estrategia de cuantificación en las imágenes de carbonizados con $fáct\text{or} = \{2, 4, 8\}$, manteniendo constante la resolución espacial (1300x1030 píxeles), se observan diferencias entre los valores de la entropía de Shannon normalizada. El valor del coeficiente de variación tiende a ser mayor con respecto al coeficiente de variación en la imagen original. La reducción en el número de intensidades utilizadas para representar la cantidad de luz cambia significativamente la estructura de variación de la información contenida en la imagen.

El uso de imágenes binarias no se consideró debido a la necesidad de preservar la información de inquemados presentes en las imágenes.

Para el preprocesamiento de las imágenes, en el sistema de clasificación automática de carbonizados, se selecciona el uso de submuestreo simple con $d=2$, y una cuantificación con un $fáct\text{or}=4$.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación Clasificación Automática de Imágenes Digitales Provenientes de un Proceso de Desvolatilización de Carbón, con registro IC-2509 de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle.

REFERENCIAS

- [1] Alvarez, D., Borrego A. G. and Menéndez R. Unbiased methods for the morphological description of char structures. *Fuel*. Vol. 76, No. 13, pag. 1241-1248, 1997.
- [2] Lester E., Cloke M. and Allen M. Char characterization using image analysis technology. *Energy & Fuels*. Vol. 10, pag. 696-703, 1996.
- [3] Liu G., Benyon P., Benfell K., Bryant G., Tate A.G., Boyd R.K., Harris D.J. and Wall T.F. The porous structure of bituminous coal chars and its influence on combustion and gasification under chemically controlled conditions. *Fuel*. Vol. 79, No. 6, pag. 617-626, 2000.
- [4] Gonzales C. R., Woods E. R. *Digital Image Processing*. 2da Edición, pag. 52-63, 2002.
- [5] Cloke M., Wu T., Barranco R. Lester E. Char characterisation and its application in a coal burnout model. *Fuel*. Vol. 82, pag. 1991-1994, 2003.
- [6] Wu T., Lester E., Cloke M. Advanced automated char image

- analysis techniques. *Energy & Fuels*. Vol. 20, No. 3, pag. 1211-1219, 2006.
- [7] Navarro Y., Peña J., Torres C. Detección y cuantización de macerales en imágenes de carbón por métodos ópticos. *Revista Colombiana de Física*. Vol. 38, pag. 637-640, 2006.
- [8] Carvajal J., Branch J. W. Comparación de modelos de clasificación automática de patrones texturales de minerales presentes en los carbonos colombianos, *Dyna*. Nro. 146, pag. 115-124, 2005.
- [9] Hea, M., Hea, X. F., and Luo, H. B. Detection of information change on SAR images based on entropy theory. *1st Asian and Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar*, pag. 775 - 778, 2007.
- [10] Weinberger, M.J., Seroussi, G., and Sapiro, G. The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS. *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 9, Issue 8, pag. 1309 - 1324, 2000.
- [11] Gerace I., Mastroleo M., Milani A., and Moraglia S. An Evolutionary Approach to Inverse Gray Level Quantization. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4781, pag. 242-253, 2007.
- [12] Man H., Docef A. And Kossentini F. Performance Analysis of the JPEG 2000. *Image Coding Standard, Multimedia Tools and Applications*, Vol. 26, No. 1, pag. 27-57, 2005.
- [13] Jordan, J., Ludeman, L. Image segmentation using maximum entropy techniques. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 9, Part 1, pag. 674 - 677, 1984
- [14] Lande R. On comparing Coefficients of Variation. *System Zoology*, Vol. 2, No. 2, pag. 214-217, 1977.

Deisy Chaves es Ingeniera de Sistemas de la Universidad del Valle, participó como auxiliar de investigación en el proyecto de investigación Clasificación Automática de Imágenes de Carbonizados. Sus principales áreas de interés son el procesamiento de imágenes, las tecnologías multimedia y la ingeniería de software.

María Trujillo es profesora asistente de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. María obtuvo el grado de Estadística en la Universidad del Valle; realizó estudios de Maestría en Ciencias, con énfasis en Estadística, en el Colegio de Posgraduados, en Montecillos México, y culminó estudios de Doctorado en Filosofía, en Ingeniería Electrónica, en la Universidad de Londres. La Dra. Trujillo hace parte del grupo de expertos evaluadores de *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* y *European Signal Processing Conference*. María Trujillo lidera la línea de investigación en Multimedia y Visión del Grupo de Estudios de Doctorado en Informática, GEDI. Sus principales áreas de interés son la visión computacional, las tecnologías multimedia, y el reconocimiento de patrones.

Andrés Rojas es profesor asistente del Departamento de Ingeniería en la Facultad de Ingeniería y Administración de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Obtuvo el título de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, realizó estudios de Maestría en Ingeniería Química y estudios de Doctorado en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Química en la Universidad del Valle. El Dr. Rojas hace parte del Grupo de Ciencia y Tecnología del Carbón de la Universidad del Valle, y del Grupo de Eficiencia Energética y Energías Alternativas (GEAL), de la Universidad Nacional Sede Palmira. Sus principales áreas de interés son la carboquímica y los biocombustibles.

Cisco Academy Training Center - National University of Colombia

[Presentation and history]

IT Essentials

IT Essentials I: PC Hardware and Software
IT Essentials II: Network Operating Systems

Cisco Certified Network Associate

CCNA 1: Network Fundamentals
CCNA 2: Routing Protocols and Concepts
CCNA 3: LAN Switching and Wireless
CCNA 4: Accessing the WAN

Cisco Certified Network Professional

CCNP Building Scalable Internetworks
CCNP Implementing Secure Converged Wide Area Networks
CCNP Building Multilayer Switched Networks
CCNP Optimizing Converged Networks

Network Security

Fundamentals of Wireless LANs

Telephony over IP

Voice over IP



Contact

Faculty of Minas. Carrera 80 65-223 BI M3-211
Web site: <http://cnap.unalmed.edu.co>
E-mail: catc@unalmed.edu.co
Phone: +574 4255268
Fax: +574 2341002
Medellin, Colombia