

# A Practical Approach for Segmentation of Twigs on Samples of Yerba Mate by Digital Image Processing

C. X. Pérez, F. Botterón, *Member, IEEE*

**Abstract**— This paper discusses the implementation of the digital image processing techniques as a method for estimating the contents of twigs in samples of *yerba mate*. The hardware used in this paper, to obtain the analyzed images, consists of a desktop scanner and a personal computer. Then, using the designed and developed software for this purpose, the digital images obtained were processed and analyzed using a basic segmentation technique such as binarization with histogram thresholding. This paper compares two methods for estimating weight ratios from the binarized image. Preliminary experimental results using the proposed techniques, suggest that it may be estimated with an error less than 4% the percentage of twigs in a given batch of images. The speediness, simpleness and efficiency of the test, compared with current techniques, as well as, the reduced cost of the associated hardware, presents a viable, inexpensive and straightforward alternative if compared with the traditional.

**Keywords**— digital image processing, yerba mate, quality control, IRAM 20514, scanner, segmentation, histogram thresholding, binarization.

## I. INTRODUCCIÓN

CON LOS avances de la tecnología, especialmente de la informática y de la capacidad de cómputo de los equipos, cada día es más frecuente la utilización del procesamiento digital de imágenes (PDI). En la era actual donde vemos una tendencia general al uso de multimedios, no es extraño pensar en aplicar estos conceptos, y esta tecnología, en búsqueda de mejorar procesos productivos locales. Si bien esta tecnología es usada actualmente en industrias altamente tecnificadas como lo son las automotrices, embotelladoras, industrias farmacéuticas entre otras [1], es escasa su utilización en procesos productivos más artesanales. Particularmente en lo que respecta a la industria regional de la Yerba Mate y al control de calidad de este producto, aún existe mucho camino por recorrer. Es por esto que el presente trabajo busca contribuir en la tecnificación de determinados procesos productivos, haciendo uso de las herramientas de procesamiento de imágenes que han demostrado ser efectivas

Quisiéramos agradecer al Instituto Nacional de la Yerba Mate (INYM) quién financió parte de la investigación que dio origen al presente trabajo como así también a la elaboración del banco de imágenes utilizadas, y también al Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica (GID-IE) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones.

C. X. Pérez, Universidad Nacional de Misiones, Oberá, Argentina, xiscatti@fio.unam.edu.ar

F. Botterón, Universidad Nacional de Misiones, Oberá, Argentina, botteron@fio.unam.edu.ar

en muchos casos prácticos [2], [3], [4].

La tecnología de visión de máquina o visión artificial ha demostrado ser efectiva en muchas industrias tales como las embotelladoras, las farmacéuticas y las automotrices, por mencionar algunas. Lo que ha motivado su utilización en dichos procesos sin lugar a dudas fueron sus ventajas en cuanto a la velocidad de procesamiento y la posibilidad de automatizar métodos de inspección en sistemas de control de calidad incluso en ambientes adversos, como los altos hornos. Sin embargo, no se tienen antecedentes de aplicación en la industria yerbatera.

El Código Alimentario Argentino (CAA) define el producto “Yerba Mate Elaborada con Palo” y establece proporciones de hojas y palos, que en el segundo caso no debe superar el 35% en peso. Explica además el procedimiento para determinar su composición e indica las características de los elementos a utilizar en el análisis. Este proceso tradicional de determinación, actualmente es realizado por medio de zarandas que permiten separar por tamaño las partículas que la componen. Lo obtenido de la separación por tamices, es luego pesado para determinar de esta manera una proporción gravimétrica de cada uno de los componentes de la yerba mate [5].

Por otra parte, uno de los atributos de calidad diferenciadores del producto es el contenido de palo de la yerba mate elaborada con palo [6], [7]. El procedimiento establecido por el CAA, para la determinación del contenido de palo en la yerba mate elaborada con palo, resulta hoy deficiente; dado que existe subestimación del contenido, insume tiempo y requiere alta intervención manual [5].

En lo que respecta a las reglamentaciones actuales, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) ha promulgado el Protocolo de Calidad para yerba mate [8], el cual fue la base de reglamentación que encuadró el presente trabajo. Este protocolo ratifica los porcentajes máximos de palo del 35%, en concordancia con lo que menciona el CAA [5]. Si bien este protocolo es muy específico en algunos aspectos, deja abierta algunas cuestiones en lo que respecta a la forma de determinar el porcentaje de palo, dado que menciona que: “Para la determinación de fibra bruta se podrá considerar la metodología establecida por IRAM 20514 ‘Yerba Mate. Determinación de contenido de palo’, **hasta tanto se oficialice una técnica a nivel nacional**” [8, p. 6]. De esta manera queda claro que es un tema aún en discusión a nivel nacional por lo que puede ser oportuno el planteo de una técnica alternativa a las tradicionales utilizadas actualmente como la que se propone en el presente trabajo.

Dicho esto, la rapidez y eficiencia del ensayo por procesamiento digital de imágenes, y el bajo costo del hardware asociado, presenta una alternativa viable, económica y simple de implementar en comparación con el tradicional.

## II. METODOLOGÍA

### A. Banco de imágenes utilizado

Paralelamente con el estudio de las técnicas de visión artificial, se trabajó en un método de obtención de las muestras de laboratorio a las que llamaremos patrones de aquí en adelante. Para ello se partió de muestras homogéneas de los elementos constitutivos obtenidos según las indicaciones del CAA y las recomendaciones de la Norma IRAM y con ellas se confeccionaron las mezclas en laboratorio por medio de una balanza de precisión, de manera de poder conocer con exactitud las proporciones de palo y de hoja que presentan [10].

Como es bien sabido, las herramientas de procesamiento de imágenes se aplican sobre ellas sin importar la plataforma con la que fue adquirida, es decir, por medio de una cámara fotográfica de uso doméstico, una cámara profesional, una cámara industrial, un escáner u otros medios digitalizadores.

Ahora bien, para poder trabajar sobre un algoritmo que pueda aplicarse a una sucesión de imágenes de similares características, como es el caso del presente trabajo, fue necesario reducir la cantidad de parámetros que influyen sobre la imagen de manera de poder estandarizar el algoritmo y simplificar su implementación. Teniendo en cuenta esto, la normalización del proceso de adquisición de la imagen implica una estandarización de la iluminación, los tiempos de exposición, la distancia focal, entre otros [9].

Si bien la fundamentación anterior podría ser suficiente como para optar por esta técnica de captura, se puede agregar la ventaja de no necesitar un hardware de adquisición de imágenes de costo elevado, entre los que podrían estar los flashes, las lentes, los filtros ópticos, cámaras y adquisidores de imágenes; como así tampoco sería necesaria la adquisición de software especial para la captura de esas imágenes. He aquí que se propone la utilización de un simple escáner plano de mesa, el cual cumple con las premisas establecidas de estandarización del proceso de adquisición de imágenes; además de ser una herramienta de adquisición de muy bajo costo y elevadas prestaciones para el propósito planteado. De esta forma, la imagen resultante del escaneado puede ser directamente utilizada para su análisis.

Básicamente, la muestra de yerba mate se ubicó sobre la cama del escáner por medio de una hoja adhesiva transparente para luego digitalizarla y así obtener la imagen resultante de la muestra [10]. De esta forma pudieron realizarse varias tomas de una misma muestra con una repetitividad aceptable. Es así que se obtuvieron muestras con diferentes contenidos de fracciones palo y hoja (15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%) [10].

A partir de esta metodología propuesta, se creó un banco de imágenes con muestras de variadas proporciones, de manera de utilizarlas como elementos de prueba y para validación de las técnicas de PDI que se propondrán en la presente investigación y trabajos futuros. Los detalles de la confección

de dicho banco de imágenes ya fueron presentados en [10] y se resumen a continuación:

1) *Fraccionamiento manual*: Fueron separadas en forma manual, fracciones de hoja y palo de yerba mate canchada con un estacionamiento de 12 meses, moliéndose cada fracción por separado en un molino de laboratorio, provisto de una malla de 3 mm de diámetro.

2) *Pesaje de muestras en balanza de precisión*: A partir de estas fracciones fueron obtenidas las distintas muestras patrones, pesándose las distintas fracciones en una balanza con una precisión de  $\pm 0,001$  g.

3) *Preparación de las muestras*: Estas muestras fueron preparadas por duplicado, de manera de poder enviarse para su análisis a un laboratorio especializado según Norma IRAM 20514.

4) *Escaneado*: El juego restante se espolvoreó manualmente sobre una hoja A4 transparente adhesiva y luego se escanearon en color, a 600 dpi (puntos por pulgada cuadrada). Una de las imágenes resultantes del escaneo, se presenta en la Fig. 1.

5) *Formato de la imagen*: Las imágenes obtenidas en el proceso de digitalización, se guardaron en formato TIFF, dado que se buscó almacenamiento sin pérdidas por compresión.

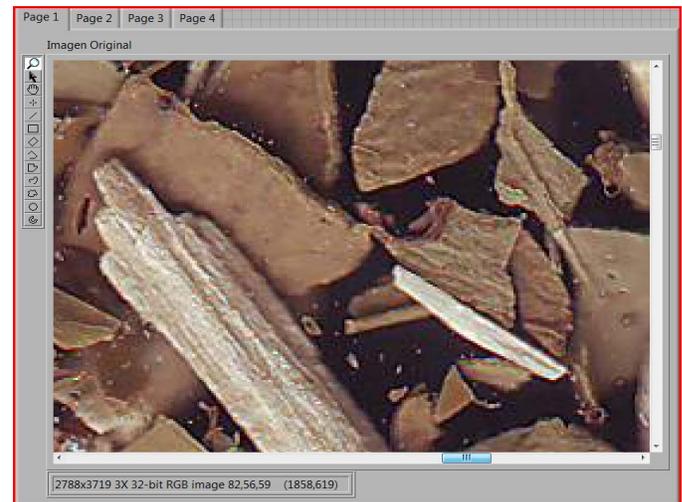


Figura 1. Imagen original obtenida del escáner color correspondiente al lote utilizado en [10], visualizada en el entorno de software desarrollado.

TABLA I - LOTE DE IMÁGENES UTILIZADO

Lote <sup>1</sup>	Porcentajes <sup>2</sup>	Cantidad de Muestras <sup>3</sup>	Lados <sup>4</sup>	Tomas del escáner <sup>5</sup>	Cantidad de imágenes <sup>6</sup>
A	15-20-25-30-35-40-45	8	2	1	112
B	15-20-25-30-35-40-45	1	2	3	42
C	15-20-25-30-45	8	2	1	80
D	30-35-38	2	2	1	12
E1	15-20-25-30-35-40-45	1	1	3	21
E2	15-20-25-30-35-40-45	1	1	3	21
E3	15-20-25-30-35-40-45	1	1	3	21
Total					309

<sup>1</sup>Nombre que se le asignó al lote dado.

<sup>2</sup>Porcentajes de palo que presenta dicho lote.

<sup>3</sup>Cantidad de muestras (imágenes) de cada uno de los porcentajes del lote.

<sup>4</sup>Algunas muestras fueron escaneadas de ambos lados (2).

<sup>5</sup>Para poder comprobar la repetitividad de las muestras fueron hechas varias tomas de las mismas para algunos lotes (B, E1, E2 y E3).

<sup>6</sup>La cantidad de imágenes de cada lote se corresponde con la cantidad de porcentajes diferentes por la productoria de las demás columnas. Ejemplo, el lote A presenta un total de imágenes =  $7 * 8 * 2 * 1 = 112$

En la Tabla I se detalla el contenido de los lotes que conforman el banco de imágenes utilizado [10].

### B. Estructura general del PDI propuesto

Sin importar la técnica de procesamiento digital de imágenes que se utilice podemos describir el procedimiento para la determinación de proporciones palo/hoja en etapas según se detalla a continuación:

1) *Selección de la imagen a procesar.*

2) *Mejoramiento de la imagen:* Una vez que se obtuvo la imagen de la forma más adecuada posible (cabe destacar que cuanto mejor sea la imagen inicial, tanto más sencillo será su posterior procesamiento), se utilizan herramientas de realce que buscan destacar, respecto del entorno, los objetos, elementos u otras características importantes en la imagen. En esta etapa se realizan:

- a) *Ajustes de Brillo y Contraste.*
- b) *Corrección Gamma.*
- c) *Balance de Colores.*

3) *Binarización de la imagen:* En esta etapa se busca obtener una imagen intermedia que pueda ser utilizada posteriormente, como máscara de filtrado de palos. Esta imagen es binaria (dos colores) representando la característica del punto según la siguiente clasificación:

- a) *No es palo ==> Negro*
- b) *Es palo ==> Blanco*

4) *Preparación y depuración:* Aquí se aplican filtros morfológicos para mejorar la imagen binaria resultante, de manera de quitar puntos aislados (ruido) y cerrar regiones convexas (palos).

5) *Enmascaramiento de palos:* En este proceso se aplica la imagen anterior como una máscara sobre la imagen original de tal manera que los puntos negros de la imagen máscara hagan negros los puntos de la imagen original y los puntos blancos de la máscara dejen intactas las características de color de la imagen original en esos puntos. El resultado será una imagen que presenta únicamente los palos de la imagen original.

6) *Supresión de palos:* En esta etapa del procesamiento, se busca utilizar la imagen color de sólo palos para suprimirlos de la imagen original, que se conserva en un buffer de memoria, de manera de obtener una imagen que no contenga palos.

7) *Binarización de hojas:* La binarización de hojas se realiza de una manera similar a como se hizo inicialmente con los palos.

8) *Recuento de partículas y análisis estadístico de palos y hojas:* Por último, lo que resta es comparar el análisis de partículas de las imágenes, sólo palo y sólo hoja, de manera de obtener la relación porcentual que existe entre ellos.

### C. Implementación de la estructura propuesta

Para la implementación en software de la estructura de PDI propuesta, se hicieron pruebas preliminares con el software Matlab<sup>®</sup> pero posteriormente se procedió a programar en el entorno gráfico LabVIEW<sup>®</sup> dado que se cuenta con más experiencia en su utilización. Por otra parte, como resultado de trabajos antes publicados, [11],[12] ya se tenían desarrolladas las funciones básicas de procesamiento de imágenes descriptas en los apartados anteriores facilitándose la implementación y

acortándose significativamente los tiempos de experimentación y análisis.

Es así que se diseñó una interfaz de usuario en el entorno gráfico antes mencionado, dando como resultado una aplicación intuitiva, gráfica y de fácil utilización con un mínimo de entrenamiento. Esta interfaz de software permite evaluar los diversos lotes de imágenes pudiendo seleccionarse también el “Core” o algoritmo de procesamiento a utilizar. En principio fueron programados dos, cuyos resultados se exponen en el presente artículo, pero está previsto que pueda utilizarse el mismo entorno para posteriores algoritmos.

De esta manera, los requerimientos *a priori* establecidos para la herramienta de software fueron los siguientes:

--Que permita ejecutar una sucesión de tareas de procesamiento de imágenes a lo cual llamaremos “Core” (corazón) y el cual puede ser programado como subrutina y ser ejecutado a elección del usuario pudiendo el mismo optar por alguno de los algoritmos aquí propuestos.

--A su vez que esta interfaz permita la selección de una ruta en la cual buscar las imágenes a procesar admitiendo al menos dos formatos de imágenes, TIF y JPG.

--Que presente resultados parciales y muestre las imágenes que se van procesando como así también las resultantes de los procesos de binarización y enmascaramiento, de manera de poder hacer una supervisión en tiempo de ejecución de la segmentación de palo/hoja que se pretende automatizar.

--Que lleve una estadística de los resultados obtenidos para el lote en análisis y que la presente en un histograma.

--Que muestre una barra de progreso del lote de imágenes que se está procesando.

--Que genere un informe con los resultados de todo el análisis y permita que sea exportado un procesador de textos o planilla de cálculo.

### D. Detalle de la estructura de PDI implementada

Seguidamente se desarrollarán los diversos bloques utilizados en la estructura de PDI implementada.

1) *Selección de la imagen a procesar:* Para la selección de las imágenes a procesar se ingresa la ruta a la carpeta dentro del ordenador donde se encuentra el lote de imágenes a procesar pudiendo elegirse entre dos formatos típicos, TIFF y JPG. Como ya se aclaró anteriormente, el formato correspondiente a las imágenes del banco utilizado, es TIFF.

2) *Mejoramiento de la imagen:* Como primer paso se convierte la imagen del espacio de color RGB a HSL [13]. Luego se extrae el plano L (luminancia) el cual se utiliza posteriormente para la segmentación. Seguidamente se realiza un realce de los palos con un ajuste cuadrático de histograma [14, pp. 91-94]. Por último se opera morfológicamente con un filtro de Auto-mediana de 3x3 en la imagen en escala de grises [14, pp. 554-558].

3) *Binarización de la imagen:* Para realizar la binarización de la imagen se usó el umbralizado de histograma tomando como valor umbral adaptativo el umbral de entropía [15]. De esta manera se logra cierta independencia respecto del tono de color con el que se hayan adquirido las imágenes. En esta etapa se busca obtener una imagen binaria que pueda ser,

posteriormente utilizada, como máscara de filtrado de palos. La imagen binaria obtenida se presenta en la Fig. 2b.

4) *Preparación y depuración*: A fin de filtrar puntos aislados se utiliza morfología binaria aplicando el filtro de auto-mediana.

5) *Enmascarado de palos*: En este proceso se aplica la imagen anterior como una máscara sobre la imagen original de tal manera que los puntos negros de la imagen máscara hagan negros los puntos de la imagen original y los puntos blancos de la máscara dejen intactas las características de color de la imagen original en esos puntos. Esto se logra multiplicando punto a punto la imagen original con la máscara binaria obtenida en el punto 4. El resultado será una imagen que presenta únicamente los palos de la imagen original (Fig. 2c).

6) *Supresión de palos*: En esta etapa del procesamiento se busca utilizar la imagen color de sólo palos para suprimirlos de la imagen original que se conserva en un buffer de memoria de manera de obtener una imagen que no contenga palos. Para ello, se restan punto a punto las matrices de la imagen original con la resultante del punto 5 (Fig. 2d).

7) *Binarización de hojas*: La binarización de hojas se realiza de una manera similar o como se hizo inicialmente con los palos pero aplicándolo a la imagen resultante del punto 6.

8) *Recuento de partículas y análisis estadístico de palos y hojas*: Por último, lo que resta es comparar el análisis de partículas de las imágenes, sólo palo y sólo hoja, de manera de obtener la relación porcentual que existe entre ellos. En este punto se abordaron dos alternativas diferentes:

--La primera de ellas realiza una comparación de áreas, es decir, calcula el porcentaje de superficie de la imagen de sólo palos con relación a la superficie de la imagen palos + hojas. A esta alternativa se la denomina aquí, método de áreas.

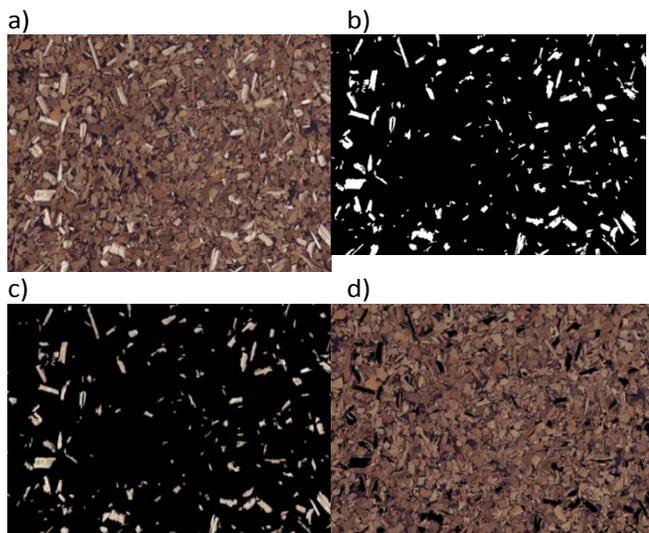


Figura 2. Imágenes obtenidas del procesamiento con la estructura de PDI propuesta: a) Imagen original [10]. b) Imagen binaria de sólo palos. c) Imagen en color enmascarada sólo palos. d) Imagen resultante de la supresión de palos.

--La segunda, busca estimar volumétricamente el contenido de palo. Esto es así dado que el método propuesto por IRAM es un método de porcentaje en peso, por lo que si

estimamos un peso específico constante podríamos aproximarnos mejor a una proporción en peso, estimando la proporción volumétrica.

Ambas alternativas se verán en el apartado siguiente.

#### E. Métodos de estimación del % de palo propuestos

1) *Estimación por proporción de áreas*: Una vez obtenidas las imágenes binarias de “sólo palo” y “sólo hoja” se procede a obtener la proporción de palo-hoja simplemente realizando el recuento de píxeles con valor distinto de cero en cada una de las imágenes y evaluando la expresión dada por (1).

$$\text{contenido de palo}_A[\%] = \frac{\sum \text{palo}_A}{\sum \text{palo}_A + \sum \text{hoja}_A} \cdot 100 \quad (1)$$

Para la realización del ajuste lineal se partió de tomar las proporciones de área de palo y de hoja y contrastarla con los valores reales conocidos a priori de los lotes de imágenes. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.

TABLA II  
EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE ESTIMACIÓN POR ÁREAS Y AJUSTE LINEAL

LOTE C	15%	30%	45%	
	4.44	8.23	16.44	
	2.96	7.19	12.19	
	3.60	5.71	11.69	
	2.26	3.99	9.65	
	2.75	3.59	6.98	
	1.92	3.33	6.49	
	2.65	4.35	18.35	
	1.96	3.72	14.90	
	2.69	9.59	12.11	
	2.23	8.44	9.63	
	2.69	10.54	11.39	
	2.08	8.75	9.58	
	3.12	5.64	11.79	
	2.29	5.09	10.07	
	2.27	6.92	13.19	
	2.33	8.05	13.82	
PROMEDIO	2.6400	6.4456	11.7669	
REAL	15.0000	30.0000	45.0000	M = 3.2571
AJUSTE LINEAL	15.9594	28.3547	45.6866	OO = 7.3607
ERROR %	6.40%	-5.48%	1.53%	R <sup>2</sup> = 0.9909

Siendo M la pendiente de la recta de ajuste lineal, o la ordenada al origen y R<sup>2</sup> el coeficiente de ajuste.

A partir de allí, utilizando los datos de la tabla, y por un ajuste de mínimos cuadrados se obtuvo la ecuación de la recta que mejor se adaptaba a los datos (Fig. 3). Esta ecuación lineal de transformación es la que se incorporó al software para presentar los resultados en unidades de [% de palo] estimado en peso. Para el ajuste se utilizó del Lote C las muestras de 15%, 30% y 45%.

2) *Estimación volumétrica*: Como hemos mencionado anteriormente, el método propuesto por IRAM establece proporciones gravimétricas de palo-hoja por lo que una proporción de áreas en la imagen no sería la forma más adecuada para estimarla. De aquí se propone un método de estimación volumétrica el cual consiste en tomar los palos segmentados en la imagen y aproximarlos a un cilindro ideal cuyo eje longitudinal se corresponda con el eje mayor de la

figura y el diámetro se corresponda con el eje menor de dicha figura. Un esquema de lo propuesto se presenta en la Fig. 4.

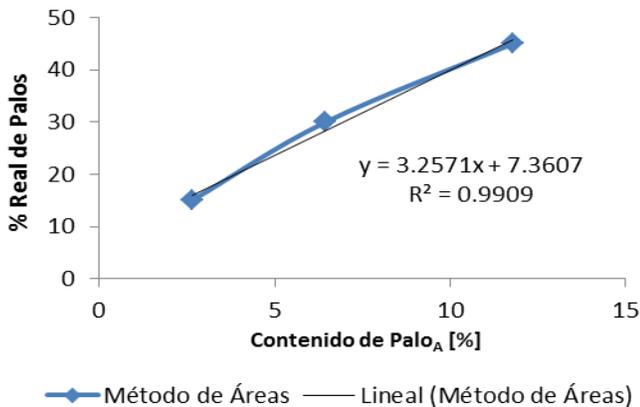


Figura 3. Curva utilizada para el ajuste de mínimos cuadrados para el método de Áreas. Ecuación de ajuste lineal resultante.

También, se ha dejado como variable de ajuste, la forma de la sección que puede ser variada desde una sección perfectamente circular a una sección oval; la cual podrá usarse para adaptar el modelo cambiando lo que se ha dado en llamar “coeficiente de aplastamiento”. Luego, para la estimación volumétrica se utiliza la ecuación (2).

$$\text{contenido de palo}_v [\%] = \frac{\sum (\pi \cdot r^2 \cdot l)}{\sum (\pi \cdot r^2 \cdot l) + \sum \text{hoja}_A} \cdot 100 \quad (2)$$

Los resultados de aplicar la estimación volumétrica son presentados en la Tabla III y en la Fig. 5.

A fines de poder comparar ambos métodos, se presenta en la Fig. 6 un gráfico de barras superpuesto en el cual se ha utilizado la ecuación de ajuste para cada uno de los métodos, evaluándose también las demás muestras del lote C. Entrán también en este análisis, las muestras del 35% y 38% de palo del lote D y una muestra fuera de rango con 80% de palo.



Figura 4. Propuesta de Cilindro Idealizado para aproximar el volumen de los palos obtenidos de la imagen.

Tabla III  
EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE ESTIMACIÓN VOLUMÉTRICO Y AJUSTE LINEAL

LOTE C	15%	30%	45%	
	30.17	45.50	69.36	
	18.25	37.96	55.89	
	24.41	33.40	59.02	
	16.40	22.31	52.00	
	21.29	19.88	38.54	
	14.94	20.31	37.96	
	18.62	28.47	71.73	
	13.64	25.38	63.43	
	20.18	50.14	55.95	
	17.38	44.97	47.50	
	18.12	57.33	58.51	
	13.05	48.73	51.88	
	22.28	33.59	55.68	
	15.23	30.23	48.84	
	16.17	38.82	56.86	
	17.56	43.21	58.69	
PROMEDIO	18.6056	36.2644	55.1150	
REAL	15.0000	30.0000	45.0000	M = 0.8216
AJUSTE LINEAL	15.1626	29.6710	45.1587	OO = -0.1238
ERROR %	1.08%	-1.10%	0.35%	R^2 = 0.9997

Siendo M la pendiente de la recta de ajuste lineal, o la ordenada al origen y R<sup>2</sup> el coeficiente de ajuste.

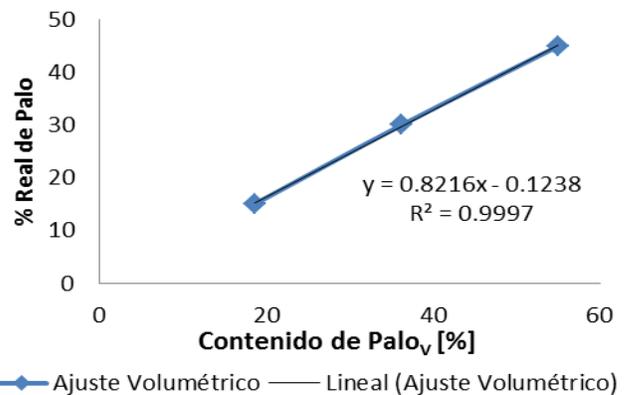


Figura 5. Curva utilizada para el ajuste de mínimos cuadrados para el método volumétrico. Ecuación de ajuste lineal resultante.

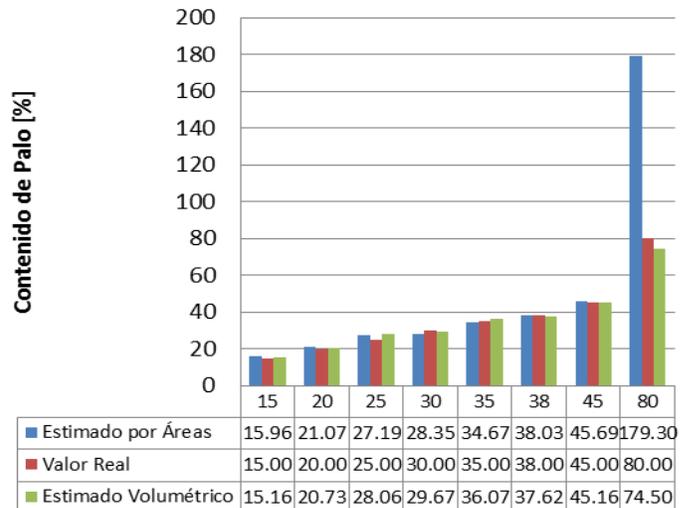


Figura 6. Gráfico de barras comparativo entre los métodos de estimación por áreas y estimación volumétrica referidos al valor nominal de las muestras.

### III. CONCLUSIONES

El método propuesto en el presente trabajo para la determinación del contenido de palos en muestras de Yerba Mate, resulta ser una alternativa viable, económica y simple de implementar, dado el bajo costo del hardware asociado.

Se abordaron dos métodos de estimación del contenido de palo utilizando técnicas de PDI. Si bien ambos métodos presentan cierto grado de linealidad el modelo que mejor se ajusta es el de estimación volumétrica logrando un error porcentual máximo de +/-4% y un ajuste  $R^2 = 0,9997$ .

Más allá de que el hecho de tecnificar el proceso de control de calidad de la Yerba Mate sea positivo desde el punto de vista de la mejora tecnológica, podría resultar en una ventaja económica dado que el proceso actual de zarandeo es un proceso demorado. Por otra parte, el resultado del presente trabajo podría sentar las bases para seguir avanzando hacia una técnica de control que pueda ser implementada en forma continua con el proceso y no, como se hace actualmente, aplicando un control estadístico [16] a los resultados del proceso, siendo que ahí ya no puede ser utilizado en forma correctiva para mejorar el mismo y/o adecuarlo a la normativa sino que sirve como herramienta meramente informativa. Ahora bien, dado que la Argentina es el principal productor mundial de Yerba Mate, particularmente las provincias de Misiones y Corrientes [17], [18], es de esperar que los avances tecnológicos a ser aplicados en esta industria procedan de estudios e investigaciones locales, por lo tanto, es de sumo interés continuar con estos estudios a fin de facilitar esta tecnología a los molinos y secaderos y convertir a la Argentina en un posible exportador de esta tecnología, antes de que ésta sea ofrecida por investigadores y/o industrias extranjeras. Es así que se propone a futuro seguir trabajando en esta línea de investigación para lograr implementar, en diversas arquitecturas de hardware, la presente propuesta, con el objetivo de poder comparar la eficiencia de los algoritmos. Como interés a futuro se buscará también la implementación en arquitecturas de procesamiento paralelo como lo son los procesadores multi-núcleo e implementación en GPU.

### REFERENCIAS

- [1] E. Nunes, E. Abreu, J. C. Metrolho, N. Cardozo, M. Costa and E. López, "Flour Quality Control Using Image Processing," *IEEE*, 2003.
- [2] P. Lilly, J. Jenkins and P. Bourdillon, "Automatic Contour Definition on Left Ventriculograms by Image Evidence and a Multiple Template-Based Model," *Transactions on Medical Imaging*, vol. 8, no. 2, Junio 1989.
- [3] P. Campoy, J. Canaval and D. Peña, "An On-line Visual Inspection System for the Pulp Industry," *Computers In Industry*, 2005.
- [4] S. Dworkin and T. Nye, "Image processing for machine vision measurement of hot formed parts," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 174, pp. 1-6, 2006.
- [5] CAA, "Productos Estimulantes o Frutivos," in *Código Alimentario Argentino*, 2007, pp. 25-27.
- [6] L. R. Ybarra, M. E. Schmalko, J. E. Duce and S. A. Bordenave, "Incidencia del Contenido de Palos en las Cenizas Totales de Yerba Mate," *Ciencia y Tecnología*, 2005.
- [7] A. Escalada, M. E. Schmalko and R. G. Kanzig, "El Extracto Acuoso como una Medida del Contenido de Palos en Yerba Mate," *Ciencia y Tecnología*, vol. 1, pp. 40-44, 1998.

[8] SAGPyA, "Protocolo de Calidad de la Yerba Mate," 2007.

[9] Edmund Imaging Primer, 2000. [Online]. Available: [www.edmundoptics.com](http://www.edmundoptics.com).

[10] J. C. O. Hedman, L. Crotti, and C. Xiscatti Pérez, "Determinación del contenido de palo de la Yerba Mate elaborada con palo mediante análisis de la imagen," in *5 ° Congreso Sudamericano de la Yerba Mate*, Posadas, 2011.

[11] C. Xiscatti Pérez, F. J. Bonetto and R. Urteaga, "Seguimiento por Procesamiento Digital de Imágenes, de la Evolución de una Burbuja Generada por Láser," in *AADECA 2006 - XX° Congreso Argentino de Control Automático*, Buenos Aires, 2006.

[12] C. Xiscatti Pérez, "Procesamiento Wavelet 2D en Plataforma PC y Pocket PC," Bs. As., 2007.

[13] G. Pajares, J. M. d. I. Cruz, J. M. Molina, J. Cuadrado and A. López, "Fundamentos del Color," in *Imágenes Digitales - Procesamiento Práctico con Java*, México, Alfaomega, 2004.

[14] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Segunda ed., Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall, 2002.

[15] National Instruments, NI Vision Concepts Manuals, Austin, Texas, 2008.

[16] M. I. Woniaczuk, L. E. Zielke, A. Kotik and M. E. Schmalko, "Control Estadístico de Parámetros de Calidad de la Yerba Mate Elaborada," Posadas.

[17] L. A. D. Bernardi, "Análisis de la Cadena de la Yerba Mate," 2006.

[18] P. Parra, junio 2010. [Online]. Available: [http://www.minagri.gob.ar/SAGPyA/economias\\_regionales/\\_infusiones/\\_cadenas/yerba\\_mate.htm](http://www.minagri.gob.ar/SAGPyA/economias_regionales/_infusiones/_cadenas/yerba_mate.htm).



**Christian Xiscatti Pérez** nació en Corrientes Argentina en Agosto de 1979. Se graduó como Ingeniero Electrónico en el año 2003 en la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Misiones Argentina. Obtuvo el título de Experto Universitario en Robótica y Visión por Computador en la Universidad de Alicante (2007), España.

Actualmente cursa sus estudios de doctorado en la Universidad Tecnológica Nacional -- Regional Buenos Aires y es Profesor Adjunto en la carrera de Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la UNaM. También es integrante del Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica GID-IE y se desempeña en forma independiente en la industria aportando diversas soluciones y servicios de automatización, control y trazabilidad. Sus áreas de interés en investigación: control y automatización de procesos industriales. Control digital, no-lineal y fuzzy, aplicación de técnicas avanzadas de procesamiento de señales e imágenes. El énfasis especial de sus investigaciones es en aportes de tecnología a los procesos productivos locales menos tecnificados.



**Fernando Botterón** nació en Rosario, Santa Fe, Argentina, en abril de 1967. Se graduó como Ingeniero Electricista en el año 1995, en la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Misiones, Argentina. Obtuvo los grados de Magister (2001) y Doctor (2005) en Ingeniería Eléctrica, en la Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),

RS, Brasil. Durante este periodo, desarrolló diversas actividades de investigación, desarrollo y transferencia dentro del Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC). Actualmente se desempeña como Profesor Titular en el departamento de electrónica de la FI-UNaM, es integrante del Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica GID-IE e Investigador del CONICET, categoría Adjunto. El Dr. Fernando Botterón es también miembro de la Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP) y de la Sociedade Brasileira de Automática (SBA). Sus áreas de interés son: Control digital y modulación de convertidores estáticos de potencia; fuentes ininterrumpidas de energía eléctrica de baja y media potencia; conversión y acondicionamiento de fuentes renovables de energía, control de tensión y frecuencia para sistemas de generación aislados basados en fuentes renovables; generación distribuida; control, supervisión y optimización de micro redes eléctricas.