

ENFOQUE ESTADÍSTICO DE ANÁLISIS DE TEXTURA: SU APLICACIÓN A LA CLASIFICACIÓN DE UN ORTOFOTOMOSAICO DEL VALLE DE INUNDACIÓN DEL ARROYO NAPOSTA GRANDE

MARIANA SANTAMARIA¹ y BEATRIZ ALDALUR²

¹Depto. de Matemática, Universidad Nacional del Sur
Av. Alem 1253, (8000) Bahía Blanca, Argentina

²Depto. de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur
Argentina

msantamaria62@yahoo.com.ar , baldalur@uns.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar la aplicación del enfoque estadístico de análisis de texturas a la clasificación de fotografías aéreas de escala grande. Este enfoque se basa en el cálculo de medidas estadísticas que incorporan la relación espacial entre píxeles y permiten generar bandas de textura. En el estudio se utilizó un ortofotomosaico correspondiente al valle del arroyo Napostá Grande, en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. Se procedió a la clasificación supervisada del ortofotomosaico utilizando tanto la información espectral como la información espacial proporcionada por las bandas de textura. Se calculó la matriz de correlación entre las distintas bandas para establecer la mejor combinación que optimizara la clasificación y se evaluaron los resultados mediante las matrices de confusión. La metodología utilizada contribuyó a mejorar notablemente la clasificación del ortofotomosaico basada únicamente en la información espectral.

Palabras clave: Fotografía aérea, textura, matriz de co-ocurrencia, clasificación de imágenes.

STATISTICAL APPROACH OF TEXTURE ANALYSIS: APPLICATION TO THE CLASSIFICATION OF AN ORTOPHOTOMOSAIC

ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the application of the statistical approach to texture analysis and classification of large scale aerial photographs. This approach is based on the calculation of statistical measures that include the spatial relationship between pixels and allow to generate textural bands. In this study it was used an orthophotomosaic of the Napostá Grande stream valley, in Bahía Blanca city, Argentina. We proceeded to the orthophotomosaic supervised classification using both spectral information and spatial information provided by the bands of

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

texture. Correlation matrix between the different bands was computed to establish the best combination that optimizes the classification and the results were evaluated using the confusion matrix. The methodology employed contributed to significantly improve the orthophotomosaic classification based only on the spectral information.

Keywords: Aerial photograph, texture, co-occurrence matrix, image classification.

1. Introducción

La fotografía aérea resulta una herramienta indispensable para el análisis de la morfología de una ciudad con fines de planificación urbana. El empleo de las distintas fotografías aéreas al momento de elaborar proyectos de reestructuración de los usos y coberturas de la tierra sobre las distintas áreas proporcionaría importante información.

Las técnicas de clasificación de imágenes constituyen una metodología fundamental para lograr el objetivo de mapear el uso y cobertura de la tierra y obtener una fiel representación de la realidad. La clasificación digital de una imagen consiste en la asignación automática de cada píxel a una de las clases informacionales o temáticas previamente definidas sobre la imagen. Depende tanto de la información espectral como de la resolución espacial (nivel de detalle) de la imagen. Cuando las clases definidas en la imagen son unidades homogéneas desde el punto de vista espectral, una clasificación basada únicamente en la información espectral contenida en cada píxel individual proporciona buenos resultados. Caso contrario, cuando las clases son heterogéneas los resultados no son tan buenos y por lo tanto, se requiere incorporar en la clasificación información espacial y/o temporal. Precisamente, la clasificación de un área urbana o suburbana mediante el empleo de técnicas de clasificación de imágenes, no es una tarea sencilla. El ruido existente en la respuesta espectral de los distintos usos presentes en una imagen de un área urbana o suburbana dificulta esta tarea.

Un análisis de contexto espacial considera la información contenida en la vecindad de cada píxel. En este análisis espacial resultan de interés las técnicas estadísticas de análisis de texturas que proporcionan información sobre la distribución de los niveles de gris en relación a la vecindad de cada píxel mediante el cálculo de medidas estadísticas que describen características como variabilidad, homogeneidad, contraste, etc. Estas medidas permiten generar nuevas imágenes o bandas de textura que pueden utilizarse, solas o combinadas con las bandas espectrales, para clasificar la imagen. Bähr (1991) describe la técnica de clasificación utilizando características espectrales y de textura. Sostiene que la clasificación puramente espectral de una imagen produce errores de clasificación típicos especialmente en las zonas urbanizadas y que la aplicación adicional de características de textura conduce a mejoras evidentes. Mhangara y Odindi (2013) comprobaron que la utilización conjunta de la información textural obtenida por medio de las medidas propuestas por Haralick *et al.* (1973) y la información espectral contenida en fotografías aéreas ofrecen gran potencial en la clasificación temática del uso del suelo y cobertura urbana.

La textura es una de las características importantes utilizadas en la identificación de objetos o regiones de interés en una imagen. No existe una definición formal de la textura de una imagen, es

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, n° 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

un concepto difícil de definir y prueba de esto es el gran número de definiciones distintas que se encuentran en la literatura. Fernández Sarría en su tesis doctoral (2007) realiza una revisión exhaustiva del concepto de textura aplicado al tratamiento de imágenes y cita a Shatadal *et al.* (1991) que define: "El concepto de textura se refiere a la distribución espacial de las variaciones de niveles de gris o de colores en una imagen". Según Chuvieco (2010) esta variable hace referencia a la heterogeneidad espacial de una determinada cubierta, al contraste espacial entre los elementos que la componen. Visualmente se manifiesta como la rugosidad o suavidad de los tonos de gris. Cuanto más similares sean, la tonalidad será más homogénea en el interior de la cubierta y la textura será más lisa. Por el contrario, si existe una alta heterogeneidad en los niveles de gris de esa cubierta, aparecerá como muy rugosa, como textura grosera. Lillesand y Kiefer (1994) consideran la textura como la frecuencia en los cambios de tono en una fotografía aérea, definiendo el tono como el color o brillo relativo de objetos en la fotografía. La textura es producida por un conjunto de rasgos posiblemente de pequeña escala para ser apreciados individualmente. A medida que se reduce la escala de la fotografía, la textura de un objeto o área disminuye progresivamente hasta desaparecer.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la aplicación a fotografías aéreas de escala grande del enfoque estadístico de análisis de texturas. Se pretende clasificar imágenes escaneadas de fotografías aéreas que configuran un ortofotomosaico de la zona del valle de inundación del arroyo Napostá Grande para lograr la separación de las distintas coberturas, delimitando el área que abarcan los usos de la tierra visibles en la fotografía aérea y que corresponden principalmente a asfalto, terreno natural, tamariscos y zona de sombras.

2. Materiales, datos y métodos

2.1. Descripción del área de estudio

La ciudad de Bahía Blanca se encuentra emplazada al Sureste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, sobre la margen del estuario que lleva su nombre. El arroyo Napostá Grande atraviesa una amplia área de esta ciudad, en parte entubado y en parte a cielo abierto, resultando de importancia para el drenaje del agua de lluvia hacia el mar. El área de estudio configura una zona sujeta a futuro ordenamiento del suelo emplazada en un valle de inundación de este arroyo donde hoy existe un gran porcentaje de parcelas cuyo uso del suelo es la actividad deportiva, algunas quintas de viviendas y un importante centro comercial.

La necesidad de ordenar el territorio y de dar a esta área un destino que permita la subdivisión de la tierra y el emplazamiento de nuevos emprendimientos hace de esta zona de aproximadamente 200 ha un área de privilegio. La existencia de vegetación arbustiva como tamariscos, terreno natural y algunas escasas áreas asfaltadas es el común denominador del área de estudio. La discriminación de estas diferentes coberturas de la tierra cobra importancia cuando sobre ella se planifica la realización de obras, estudios y proyectos que la afectarán en el futuro.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Napostá Grande", *GeoFocus (Artículos)*, n° 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

La zona elegida para el trabajo integra lo que se denomina valle del arroyo Napostá Grande, ubicado en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. Este sector configura una franja linder a al arroyo Napostá emplazado según el Código de Planeamiento Urbano de la ciudad de Bahía Blanca en la zona EUr (Extra Urbana de reserva). Se trata de áreas próximas al núcleo urbano cuya ocupación está condicionada al futuro crecimiento de la ciudad. Por tratarse de un área linder a un arroyo, gran parte de la zona de estudio configura una zona deprimida e inundable. Según Varela y Cerana (2008) el área de estudio se caracteriza por presentar gran cantidad de espacios verdes, extensas superficies sin subdivisión, escasez de infraestructura de los servicios básicos y variabilidad altimétrica. Los distintos usos y coberturas se encuentran representados por vastas zonas de terreno natural, cercos con tamariscos, escasas áreas asfaltadas y el curso del arroyo.

Considerables desbordes han afectado en reiteradas oportunidades al área de estudio. Estos desbordes provocaron principalmente el anegamiento de las áreas de esparcimiento como club de golf, canchas de fútbol y club de arquería (La Nueva Provincia, 2002).

El lugar se ha desarrollado notablemente en los últimos años a partir de la construcción de dos de los accesos a la ciudad de Bahía Blanca, pasando a ser esta zona, uno de los vectores de crecimiento de la ciudad. Existe una gran necesidad por parte de la Municipalidad de Bahía Blanca de definir el destino de la misma y encauzar su desarrollo, en virtud de que este área posee una importante superficie destinada a espacios verdes y configura en la actualidad una zona privilegiada (Fernández *et al.*, 2007) (figura 1). La zona posee una gran variabilidad altimétrica, con alturas referidas al nivel del mar entre los 35 m y los 60 m.

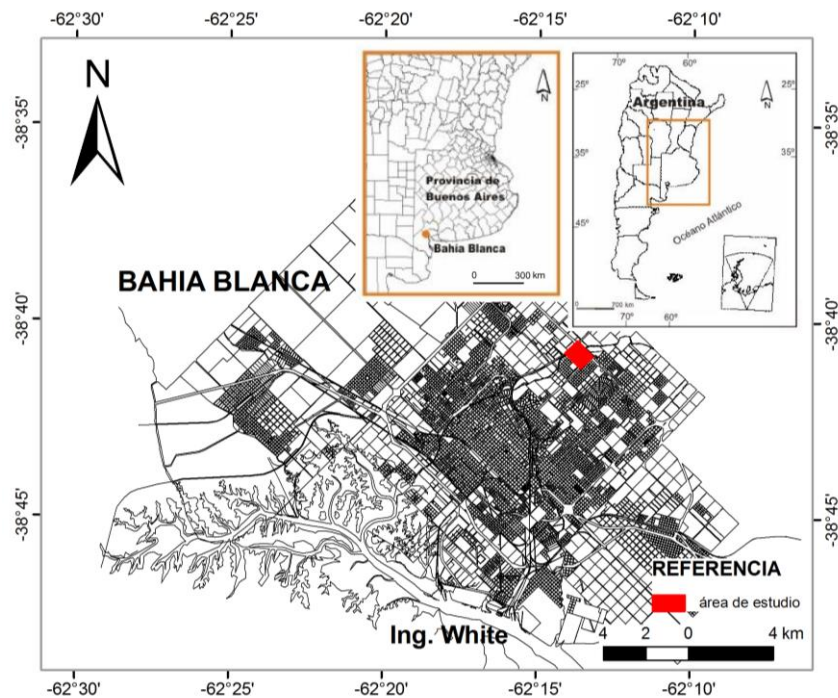


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Fte. Elaboración propia.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Napostá Grande", *GeoFocus (Artículos)*, n° 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

2.2. Datos empleados

La Municipalidad de Bahía Blanca dispone de fotografías aéreas que cubren la zona de estudio correspondiente al valle del arroyo Napostá Grande proporcionadas por vuelos efectuados hasta el año 2005. Estos vuelos realizados por el Departamento de Catastro corresponden a los años 1965, 1986, 1990, 1996, 2000 y 2005. El vuelo del año 1996 fue el único vuelo realizado en dos escalas: 1:40000 (vuelo alto) y 1:5000 (vuelo bajo).

Para aplicar el enfoque estadístico de análisis de textura, se utilizó un ortofotomosaico de 2099 por 2228 píxeles elaborado sobre la base de 6 fotografías aéreas de la banda del visible (fotogramas 54, 55 y 56 de la corrida 4 y fotogramas 91, 92 y 93 de la corrida 5), suministradas por el Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca adquiridas en el año 2000 de la zona del valle del arroyo Napostá Grande, ciudad de Bahía Blanca, Argentina. El vuelo fue realizado en la Base Aeronaval de Punta Indio, Argentina. Las fotografías aéreas se encuentran a una escala de 1:5000 y fueron escaneadas a 300 dpi, lo que se traduce en un tamaño de píxel de 42 cm. Las imágenes se hallan georeferenciadas en el sistema de coordenadas Gauss Kruger – Faja 4. Las coordenadas de las esquinas son: superior izquierda e inferior derecha respectivamente: $-38^{\circ}40'31''$, $-62^{\circ}14'01''$ y $-38^{\circ}41'07''$, $-62^{\circ}13'19''$.

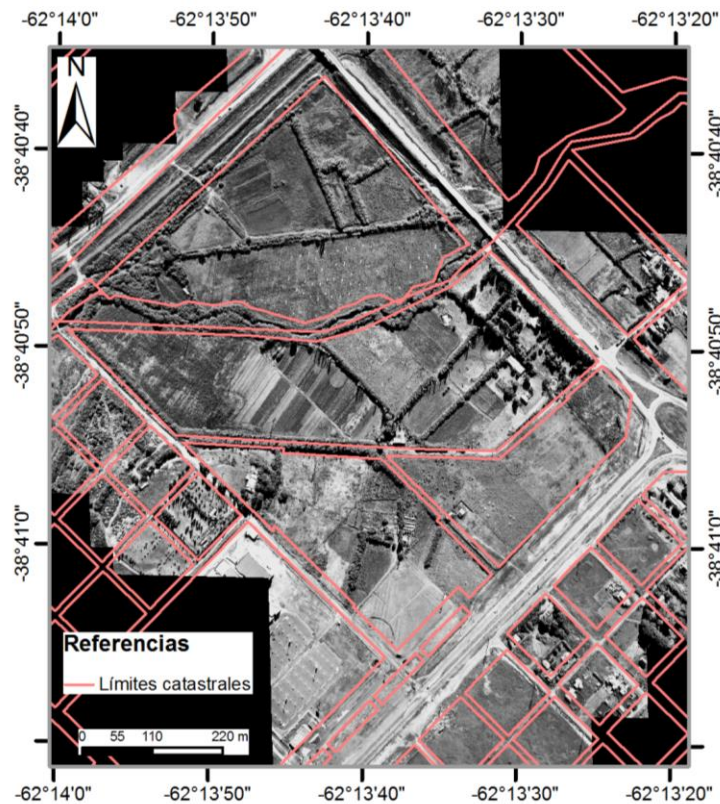


Figura 2. Ortofotomosaico del área de estudio.

Fte. Elaboración propia.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

La figura 2 muestra el ortofotomosaico de la zona de estudio con la superposición del archivo vectorial de los límites catastrales. Las calles que rodean el macizo principal se ven claramente en las fotografías aéreas, así como también las alineaciones de tamariscos que eran la demarcación de las antiguas quintas. En el Sur de la imagen, se observa la playa de estacionamiento de un hipermercado con algunas edificaciones. Las sombras de los arbustos y edificaciones no es un detalle menor, ya que la misma aparece en negro en varios puntos de la fotografía aérea.

2.3. Metodología

Con el fin de clasificar la zona de estudio y sobre la base del conocimiento que se tiene de ella, el primer paso consistió en seleccionar las áreas de entrenamiento correspondientes a los principales usos y coberturas del sector. Se definieron las siguientes clases: clase 1 correspondiente a sectores de asfalto - edificado, clase 2 a terreno natural, clase 3 a sectores de tamariscos y clase 4 dada por zonas de sombras. Las muestras de píxeles extraídas para generar las áreas de entrenamiento corresponden a 1743 píxeles para la categoría asfalto – edificado, 2022 píxeles para terreno natural, 1707 para tamarisco y 1648 para sombras.

A continuación se procedió a la clasificación supervisada de la imagen de la zona del valle de inundación del arroyo Napostá Grande por el método de mínima distancia (por tratarse de una sola banda), utilizando la información espectral proporcionada por el ortofotomosaico. Para evaluar los resultados de la clasificación se calculó la matriz de confusión (Congalton, 1991).

Posteriormente, se generaron las imágenes de textura a partir del cálculo de la matriz de co-ocurrencia y de las siguientes medidas de rasgos de textura definidas por Haralick *et al.* (1973): *homogeneidad, contraste, disimilaridad, entropía, segundo momento angular y correlación*. Más detalles sobre la construcción de la matriz de co-ocurrencia pueden obtenerse en Fernández Sarría (2007), Haralick *et al.* (1973), Presutti (2004) y Hall-Beyer (2007). Sobre el ortofotomosaico se calculó la matriz de co-ocurrencia utilizando un pixel de separación. Se escogió el pixel vecino que está situado a la derecha de cada pixel de referencia, esto se expresa como (1,0): 1 pixel en la dirección horizontal, 0 pixel en la dirección vertical. Se consideraron los siguientes tamaños de ventana: 5x5, 7x7, 9x9, 11x11, 15x15 y 25x25.

Se procedió a la clasificación supervisada por mínima distancia de cada una de las imágenes de textura para todos los tamaños de ventana considerados. Se calcularon las respectivas matrices de confusión y se compararon las tasas de exactitud global. Se clasificaron las imágenes de textura combinadas entre sí y con el ortofotomosaico por el método de máxima verosimilitud. Se evaluaron los resultados mediante las tasas de exactitud global y los errores de omisión y de comisión para analizar la separabilidad de las clases en todas las clasificaciones.

Se calculó la matriz de correlación entre las distintas bandas con el fin de destacar aquellas bandas fuertemente correlacionadas que aportan información redundante y establecer la combinación que proporciona los mejores resultados de clasificación.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

3. Descripción y análisis de resultados

En la clasificación espectral del ortofotomosaico la tasa de exactitud global fue 69.55%. Las clases 1 (asfalto - edificado) y 4 (sombras) fueron muy bien clasificadas. Sin embargo, el porcentaje de píxeles bien clasificados para la clase 2 (terreno natural) fue aproximadamente del 55% y para la clase 3 (tamarisco) del 27%. La clase 2 presenta confusión principalmente con la clase 3. Además, del 70% de los píxeles mal clasificados de la clase 3, un 29.88% y un 29.53% fueron asignados a las clases 1 y 2 respectivamente. Estos resultados pueden observarse en la tabla 1 y la imagen clasificada en la figura 3.

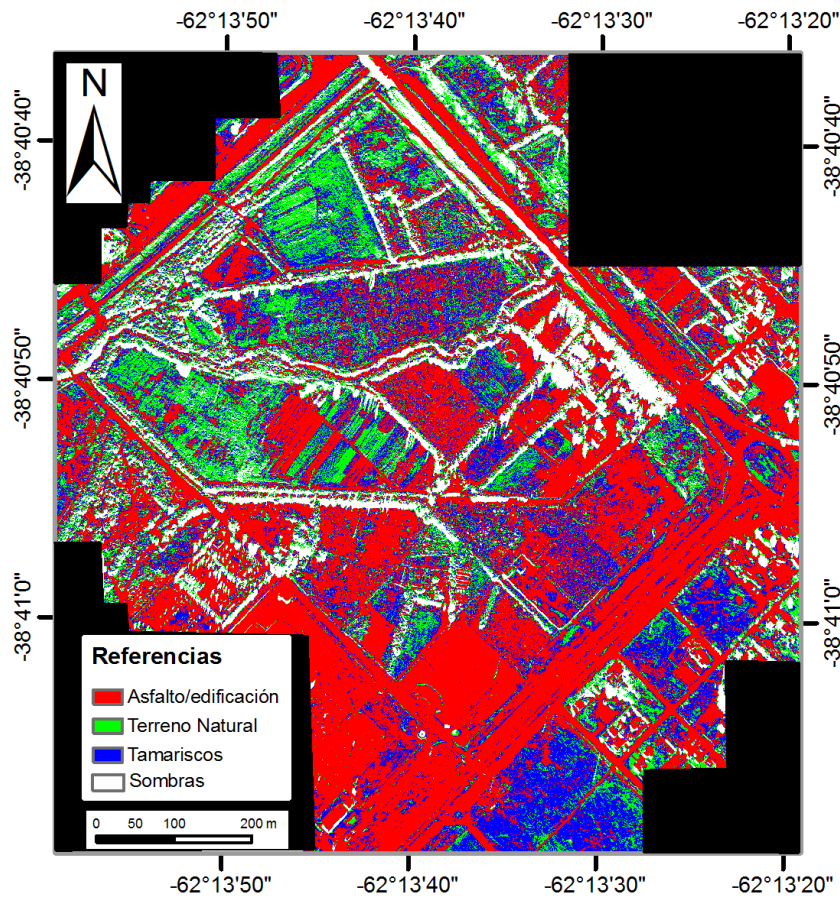


Figura 3. Imagen clasificada: original.

Fte. Elaboración propia.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

Tabla 1. Matriz de confusión de la clasificación del ortofotomosaico (en número de píxeles)

Datos de Referencia

		Asfalto - edificado	Terreno natural	Tamariscos	Sombras	Total
Datos clasificados	Asfalto - edificado	1741	177	510	0	2428
	Terreno natural	0	1107	504	0	1611
	Tamariscos	2	681	456	0	1139
	Sombras	0	57	237	1648	1942
	Total	1743	2022	1707	1648	7120

Tasa de exactitud global: (4952/7120) 69.5506%

Fte. Elaboración propia.

En relación a las imágenes de textura generadas a partir de las medidas de segundo orden calculadas a partir de la matriz de co-ocurrencia, las tasas de exactitud global presentaron valores muy superiores al 69.55% obtenido en la clasificación espectral del ortofotomosaico, especialmente para ventanas móviles de dimensión 11x11 y 15x15, como lo exhibe la figura 4. Para ventanas móviles de dimensiones superiores las tasas de exactitud global comienzan a decaer reflejando la influencia de píxeles vecinos pertenecientes a distintas clases.

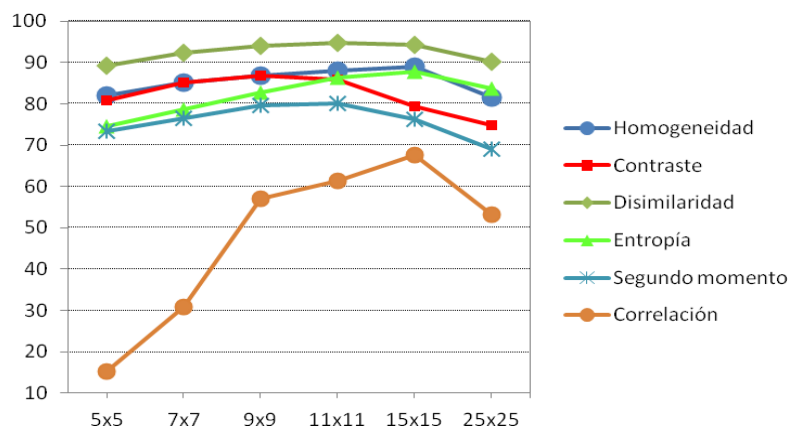


Figura 4. Tasa de exactitud global (%) para medidas de textura de segundo orden según distintos tamaños de ventana.

Fte. Elaboración propia.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

Para ventanas móviles de dimensión 15x15, homogeneidad, disimilaridad y entropía presentaron las tasas de exactitud global más altas, superiores a 87%. En cuanto a la distribución de dicha tasa según las distintas clases, las tres medidas proporcionan muy buena discriminación para las clases 1 (asfalto - edificado) y 4 (sombras) tal como ocurría en la clasificación espectral del ortofotomosaico.

Un aspecto importante a destacar del análisis de las respectivas matrices de confusión, es que para todas las imágenes de textura los resultados obtenidos en la clasificación de la clase 3 son mejores a los obtenidos en la clasificación espectral del ortofotomosaico. En particular, la confusión con la clase 2 que originalmente era del 29.53%, ahora varía entre un 3% y un 15% según la textura considerada, exhibiendo una disminución de píxeles mal asignados correspondientes a la clase 3. Sin embargo, disimilaridad es la medida que mejor separa las clases 2 y 3 entre sí y del resto, presentando un 93.42% y 89.87% respectivamente de píxeles bien clasificados. Utilizando entropía este porcentaje para la clase 2 es menor (61.33%) y para la clase 3 mayor (95.55%).

En la figura 4 se observa que contraste y segundo momento presentaron los mejores resultados en términos de fiabilidad global para ventanas de dimensión 11x11, sin embargo, para ventanas 15x15 la cantidad de píxeles mal clasificados y asignados a la clase 2 fue menor. Por otra parte, se observa que la imagen de correlación presenta los valores más bajos de tasa de exactitud global para los distintos tamaños de ventanas móviles considerados.

En base a los resultados anteriores se decidió trabajar con ventanas móviles de dimensión 15x15. Esta dimensión se consideró la más apropiada porque permite reflejar el comportamiento de las distintas texturas típicas de las clases consideradas y evita una influencia excesiva de píxeles vecinos que pueden pertenecer a texturas distintas.

Tabla 2. Matriz de confusión de la clasificación conjunta de las imágenes de textura (en número de píxeles)

Datos de referencia

		Asfalto - edificado	Terreno natural	Tamariscos	Sombras	Total
Datos clasificados	Asfalto - edificado	1743	23	0	0	1766
	Terreno natural	0	1981	200	0	2181
	Tamariscos	0	18	1507	0	1525
	Sombras	0	0	0	1648	1648
	Total	1743	2022	1707	1648	7120

Tasa de exactitud global: (6879/7120) 96.6152%

Fte. Elaboración propia.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, n° 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

El resultado de la clasificación de las imágenes de textura en conjunto, excluida la imagen de correlación, se observa en la tabla 2. La tasa de exactitud global fue del 96.61%. Se decidió excluir la imagen de correlación de la clasificación pues su inclusión disminuye la tasa de fiabilidad (82%) y además produce confusión entre las clases 1 (asfalto - edificado) y 4 (sombras), situación que no se presenta cuando se elimina esta imagen de la clasificación.

Al agregar la imagen del ortofotomosaico original al conjunto de imágenes de textura consideradas, la clasificación produjo una tasa de exactitud global del 96.92% como puede observarse en la tabla 3. Particularmente, la discriminación de la clase 2 mejora notablemente.

Tabla 3. Matriz de confusión de la clasificación ortofotomosaico + imágenes de textura (en número de píxeles)

		Datos de referencia				
		Asfalto - edificado	Terreno natural	Tamariscos	Sombras	Total
Datos clasificados	Asfalto - edificado	1743	6	0	0	1749
	Terreno natural	0	2000	197	0	2197
	Tamariscos	0	16	1510	0	1526
	Sombras	0	0	0	1648	1648
	Total	1743	2022	1707	1648	7120

Tasa de exactitud global: (6901/7120) 96.9242%

Fte. Elaboración propia.

La matriz de correlación calculada utilizando el ortofotomosaico y las distintas imágenes o bandas de textura (tabla 4) permitió establecer los siguientes resultados. Los coeficientes de correlación más bajos en relación al ortofotomosaico ocurren con la imagen de contraste (0.179693) y con la de disimilaridad (0.373671). Las imágenes de homogeneidad y entropía presentan baja a moderada correlación con el ortofotomosaico (varía entre 0.60 y 0.70). La banda de disimilaridad presenta alta correlación con contraste, entropía y homogeneidad, sin embargo, tiene baja correlación con el ortofotomosaico por lo tanto su inclusión aporta información para la discriminación de las clases consideradas.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

Tabla 4. Matriz de correlación entre ortofotomosaico e imágenes de textura consideradas

Imagen	MOS-56	Contraste	Disimilaridad	Entropía	Homogeneidad	Segundo momento
MOS-56	1.000000	0.179693	0.373671	0.689035	-0.632314	-0.726448
Contraste	0.179693	1.000000	0.917745	0.575541	-0.579651	-0.508707
Disimilaridad	0.373671	0.917745	1.000000	0.815961	-0.808627	-0.729350
Entropía	0.689035	0.575541	0.815961	1.000000	-0.933243	-0.947725
Homogeneidad	-0.632314	-0.579651	-0.808627	-0.933243	1.000000	0.959691
Segundo momento	-0.726448	-0.508707	-0.729350	-0.947725	0.959691	1.000000

Fte. Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos a partir de las matrices de confusión de las distintas clasificaciones y la matriz de correlación se estableció que la combinación formada por el ortofotomosaico y las imágenes de textura generadas por las medidas de contraste, disimilaridad, entropía y homogeneidad, para ventanas 15x15, proporciona resultados óptimos en la clasificación en relación a los principales usos y coberturas definidos para la zona de estudio (figura 5).

Las clases definidas ofrecieron una respuesta altamente satisfactoria en la delimitación de los usos y cobertura de la tierra. El conocimiento de la zona de estudio resultó relevante para aumentar la exactitud de la clasificación.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, n° 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

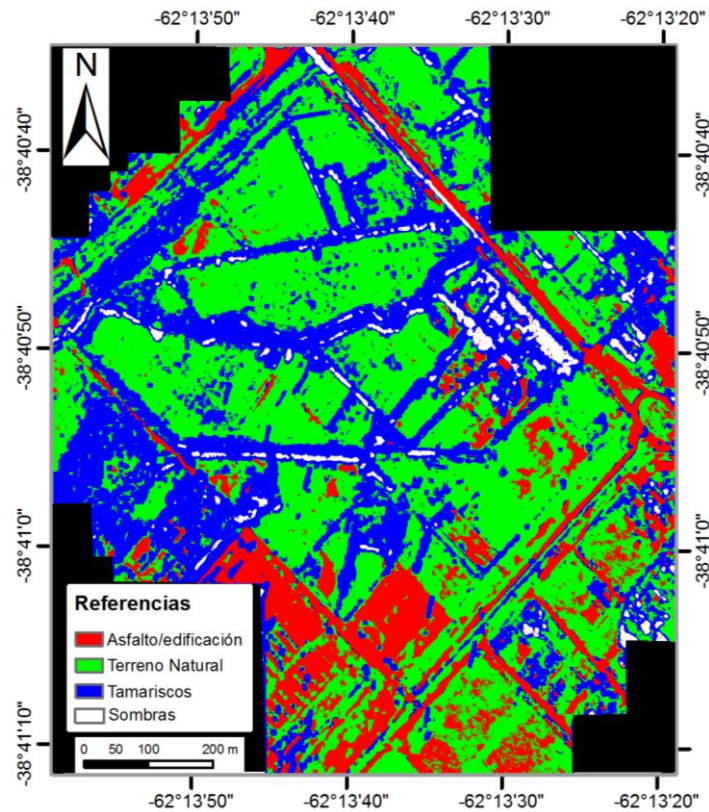


Figura 5. Imagen clasificada: original + bandas de textura.

Fte. Elaboración propia.

4. Conclusiones

El estudio realizado mediante el enfoque estadístico de análisis de texturas proporcionó muy buenos resultados en términos de la clasificación del ortofotomosaico de la zona del valle de inundación del arroyo Napostá Grande.

Un aspecto importante en el procedimiento para la generación de imágenes de textura a partir del uso de la matriz de co-ocurrencia es la definición del tamaño de la ventana a considerar. Además, debido al gran número de medidas de textura que pueden calcularse sobre una imagen, resulta indispensable realizar una selección apropiada de éstas a fin de evitar redundancia de información.

La utilización combinada de la información espectral y espacial contribuye a mejorar los resultados de la clasificación de una fotografía aérea. El enfoque estadístico de análisis de textura junto con un exhaustivo análisis de las matrices de confusión y correlación proporcionan información relevante en la clasificación de fotografías aéreas de escala espacial grande.

Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014): "Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Naposta Grande", *GeoFocus (Artículos)*, nº 14, p.55-67. ISSN: 1578-5157

Un inconveniente que surge en la clasificación de imágenes generadas mediante las medidas de texturas es la presencia de elementos dispersos, Fernández Sarría (2007) propone estudiar la capacidad de los filtros morfológicos o de los filtros de moda para corregir este tipo de defecto.

Referencias bibliográficas

Bähr, H.P. (1991): *Procesamiento digital de imágenes: Aplicaciones en Fotogrametría y Teledetección*, GTZ, Eschborn, Alemania, 428 pp.

Congalton, R. G. (1991): "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data", *Remote Sens. Envir.*, 37, pp. 35-46.

Chuvieco, E. (2010): *Teledetección ambiental*. Editorial Ariel, Barcelona, España, 590 pp.

Fernández, O., Aldalur, B., Plana, N., Pintos, I., Neuman, K., Bel, C. y Laffitte, E. (2007): "Planialtimetría del arroyo Napostá, entre el camino de Circunvalación Bahía Blanca y el derivador del Parque de Mayo", *GEOACTA* 32, pp. 223-229.

Fernández Sarría, A. (2007): *Estudio de técnicas basadas en la transformada wavelet y optimización de sus parámetros para la clasificación por texturas de imágenes digitales*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.

Hall-Beyer, M. (2007): *GLCM Texture Tutorial*. [Consulta: 10-2011], www.fp.ucalgary.ca/mhallbey/tutorial.htm.

Haralick, R. M., Shanmugam, K. and Dinstein, I. (1973): "Textural features for image classification", reimpresión con permiso de *IEEE Transactions on Systems. Man and Cybernetics*, 3, 6, pp. 610-621.

La Nueva Provincia (2002): "Ni el Zibecchi se salvó". Bahía Blanca.

Lillesand, T. M. y Kiefer, R. W. (1994): *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, U.S.A., 750 pp.

Mhangara, P. y Odindi, J. (2013): "Potential of texture-based classification in urban landscapes using multispectral aerial photos", *South African Journal of Science*, 109, 3/4, Art.1273, 8 pp. <http://dx.doi.org/10.1590/sajs.2013/1273>.

Presutti, M. (2004): "La matriz de co-ocurrencia en la clasificación multiespectral: tutorial para la enseñanza de medidas texturales en cursos de grado universitario", *4ª Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul*, São Leopoldo, RS, Brasil.

Shatadal, P., Jayas, D. S. and Bulley, N. R. (1991): "Fourier and spatial domain analysis of image texture", *Automated Agriculture for the 21st Century: Proceedings of the 1991 Symposium*, Chicago, pp. 36-41.

Varela, H. y Cerana, J. L. (2008): *Valle del Arroyo Napostá. Análisis y conclusiones*. Municipalidad de Bahía Blanca, Dirección de Planeamiento Urbano, UTN - FRBB - DIC - GEPU, 29pp. [Consulta: 11-03-2013].

Disponible en: www.hcdbhiaiblanca.gov.ar/adesarrollo/21242921708.pdf