

Procedimiento simplificado para la caracterización de la textura del cultivo del frutal a nivel de parcela mediante los parámetros de Haralick

R. Ciriza¹, M. González-Audicana² y L. Albizua¹

¹ *Tracasa. Dpto. de Sistemas de Información Territorial. C/ Cabárceno, 6.
31621 Sarriguren, Navarra.*

² *Universidad Pública de Navarra. Área de Ingeniería Agroforestal.
Dpto. de Proyectos e Ingeniería Rural.*

Resumen

Los parámetros de Haralick derivados de la matriz de co-ocurrencia de niveles de gris (MCNG) son, probablemente, los más utilizados para caracterizar la textura de cubiertas agrícolas con el objeto de inventariar la superficie ocupada por las mismas. El cálculo de esta matriz a nivel de parcela catastral resulta complejo, pues cada parcela tiene forma y tamaño diferentes. En este trabajo, se presenta un procedimiento simplificado que permite caracterizar la textura a nivel de parcela catastral mediante dichos parámetros, aplicable utilizando cualquier software de procesamiento de imágenes que tenga un módulo de cálculo de texturas a través de ventanas móviles.

Palabras clave: teledetección, textura, a nivel de parcela, Haralick, MCNG, actualización de bases de datos geográficas.

Abstract

Simplified procedure for parcel-level texture characterization of orchards using Haralick features

Haralick features derived from grey level co-occurrence matrix (GLCM) are, probably, the most used to describe the texture of agricultural covers, in order to inventory the area that they occupy. The calculation of this matrix at cadastral parcel level is complex because each parcel has a different shape and size. In this paper, we present a simplified procedure to characterize the texture at cadastral parcel level, applicable with any image processing software with a texture characterization module based on moving windows.

Keywords: Remote sensing, texture, parcel level, Haralick, GLCM, geo-databases updating.

Antecedentes

El aumento de la resolución espacial en las imágenes captadas por sensores óptico-electrónicos implica en muchos casos, un aumento en la dificultad de la definición de la firma

espectral de una cubierta vegetal en su conjunto (Blaschke *et al.*, 2004). Al trabajar con cubiertas estructuradas a una resolución espacial media (como la de SPOT 5 o Landsat TM), la información recogida por los píxeles es mixta, es decir, no pertenece a una sola cu-

* Autor para la correspondencia: rciriza@tracasa.es
Recibido: 16-04-12; Aceptado: 28-05-12

bierta. La firma espectral de una cubierta vegetal de este tipo, como por ejemplo una viña, lleva asociada a su definición la porción realmente correspondiente a cepas y la porción de suelo desnudo entre-hileras. El aumento de la resolución espacial incrementa el número de píxeles puros, de manera que la firma espectral de los mismos deja de representar la cubierta en su conjunto y comienza a caracterizar los componentes de la misma. Es entonces cuando las técnicas que consideran la parcela como unidad elemental de estudio cobran importancia.

Trabajar a nivel de parcela implica segmentar una imagen con el objetivo de crear agrupaciones de píxeles u objetos con significado físico (Blaschke *et al.*, 2010), en este caso, parcelas catastrales. Segmentar permite caracterizar cada parcela en función de multitud de parámetros. Además de la información espectral, puede extraerse información inherente al hecho de que un objeto está formado por grupos de píxeles con distinto nivel digital (ND) que siguen patrones de comportamiento concretos como, por ejemplo, la textura (Benz *et al.*, 2003).

El estudio de la textura proporciona información sobre la distribución espacial de las variaciones de tono de una imagen (Coggins and Jain, 1985). Su utilización resulta especialmente interesante en el ámbito de la agricultura, ya que ayuda a discriminar cultivos vegetales espectralmente similares. El estudio de la textura desde el punto de vista estadístico se centra en el análisis de la distribución espacial de los ND. Este enfoque se basa en la identificación de parámetros que cuantifican los patrones de variación que caracterizan a un grupo de píxeles y que describen la interdependencia, o co-ocurrencia, existente entre los mismos. El método de análisis de la textura más utilizado se basa en la extracción de parámetros estadísticos de segundo orden a partir de la matriz de co-ocurrencia de niveles de gris (MCNG)(Haralick *et al.*, 1973).

Diferentes autores han ratificado la utilidad de estos parámetros en la discriminación de cubiertas a nivel de parcela en áreas de estudio de extensión reducida (Lloyd *et al.*, 2004). Sin embargo, al tratar de implementar estas metodologías a nivel comarcal o regional, sur-

gen problemas relacionados con el tiempo de procesamiento que la extracción de este tipo de información requiere. En este trabajo se propone un procedimiento simplificado para la caracterización de la textura mediante los parámetros derivados de la MCNG, que implica un menor coste de procesamiento comparado con el procedimiento habitual de caracterización de parámetros a nivel de parcela catastral. La metodología que se presenta se basa en que, desde el punto de vista estructural, las texturas regulares se componen por elementos repetidos dispuestos según reglas de colocación. El tamaño de estos elementos repetidos determina el valor de la superficie mínima representativa de una textura (SMR), es decir, aquella que se precisa para que un conjunto de píxeles siga un patrón concreto cuantificable y estable. En este trabajo se determina el valor de la SMR para la clase de cubierta «Frutal».

A continuación, se muestra cómo utilizar esta información para simplificar el cálculo de los parámetros derivados de la MCNG. Posteriormente, se compara en más de 300 parcelas de Navarra el valor de los parámetros obtenidos considerando todos los píxeles que componen la parcela, a nivel de parcela catastral, o únicamente los delimitados por la SMR, a nivel de SMR. La Figura 1 muestra las fases de este trabajo y los análisis realizados en cada una de ellas.

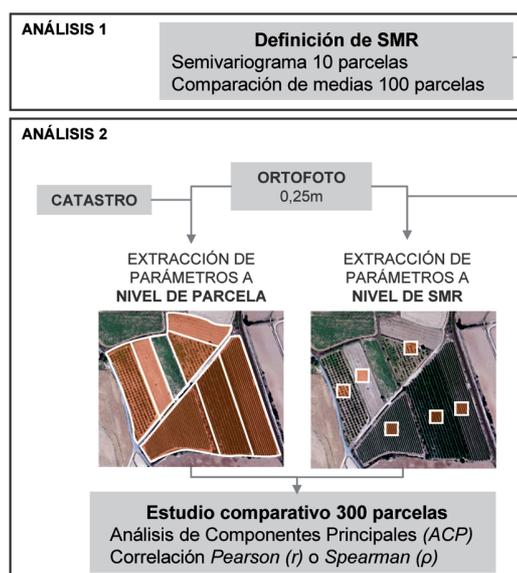


Figura 1. Diagrama de la metodología.

Información de partida

Para poner a punto este procedimiento simplificado de extracción de parámetros de textura de Haralick, se escogen 313 parcelas de frutal situadas en los municipios piloto de Fontellas y Sartaguda, localizados en la Ribera de Navarra (España). En las parcelas escogidas se cultiva albaricoquero (*Prunus armeniaca*), almendro (*Prunus dulcis*), cerezo (*Prunus cerasus*), ciruelo (*Prunus*), melocotonero (*Prunus persica*), manzano (*Malus dulcis*), nogal (*Juglans regia*), peral (*Pyrus communis*) y parcharán (*Prunus spinosa*), siguiendo diferentes marcos de plantación. La Figura 2 corresponde con la textura de un cultivo de frutal, con su característico patrón de distribución creado por el contraste de color entre el suelo y los árboles.

Los parámetros de textura se obtuvieron de una ortofotografía digital. Se trata de una imagen RGB-NIR de 0,25 m de resolución espacial y 8 bits, adquirida en junio de 2010 con un sensor DMC. La definición de las parcelas se basa en los límites cartográficos obtenidos a partir del catastro de la zona de estudio seleccionada.

Parámetros de Haralick a nivel de parcela catastral

Como ya se ha comentado anteriormente, uno de los métodos más utilizados para medir matemáticamente la textura, es aquel que se basa en la extracción de parámetros estadísticos de segundo orden obtenidos a partir de la MCNG (Baraldi and Parmiggiani, 1995; Zhang *et al.*, 2003; Puissant *et al.*, 2005).

La matriz de co-ocurrencia es un histograma bidimensional que explica la frecuencia con la que un ND co-ocurre con otro, considerando una distancia d y una relación espacial a entre pares de píxeles. Existe una matriz de co-ocurrencia diferente para cada relación espacial según se considere el vecino situado en posición horizontal (0°), el vertical (90°) o en ambas diagonales (45° y 135°) (Parkkinen *et al.*, 2003).

La Figura 3 representa las MCNG propias de una parcela de frutal y de un suelo arado.

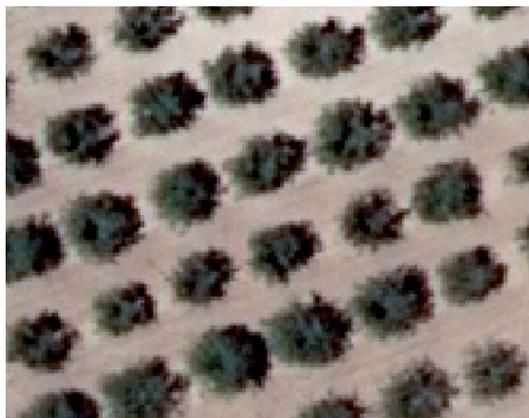


Figura 2. Ejemplo de la textura de un cultivo de frutal.

Para una mejor interpretación, se incluye la transformación logarítmica de ambas MCNG. Dado que en este ejemplo la MCNG se calcula a partir de una ortofoto de 8bits, se trata de una imagen-matriz cuadrada de 256×256 píxeles. Cada píxel de la matriz representa una combinación de co-ocurrencia. Cuanto más claro es un píxel más frecuente es la combinación de co-ocurrencia de los dos niveles de gris que representa. En la MCNG los píxeles de la diagonal principal representan los pares de píxeles de la ortofoto con igual nivel de gris. Conforme los píxeles se alejan de la diagonal se representan diferencias de niveles de gris más altas. En esta figura se observa cómo se traducen las diferencias texturales del frutal y del suelo arado en la matriz de co-ocurrencia. En la MCNG del suelo arado la información se localiza próxima a la diagonal, ya que en una imagen homogénea gran parte de los píxeles muestran un nivel de gris idéntico al de su vecino. Por el contrario, la textura altamente contrastada del frutal genera una MCNG con la información más expandida con respecto a la diagonal.

Haralick (Haralick *et al.*, 1973) propuso un conjunto de medidas de textura o parámetros que describen la distribución de los datos en la MCNG. En este trabajo se consideran la entropía (ENT), la homogeneidad (HOM), el segundo momento angular (ASM) y la media (MEAN). La extracción de estos parámetros implica alto coste computacional y dificultad de programación debido a que se deben generar MCNG asociadas a parcelas de diferentes formas y tamaños. Por esta razón, se plantea

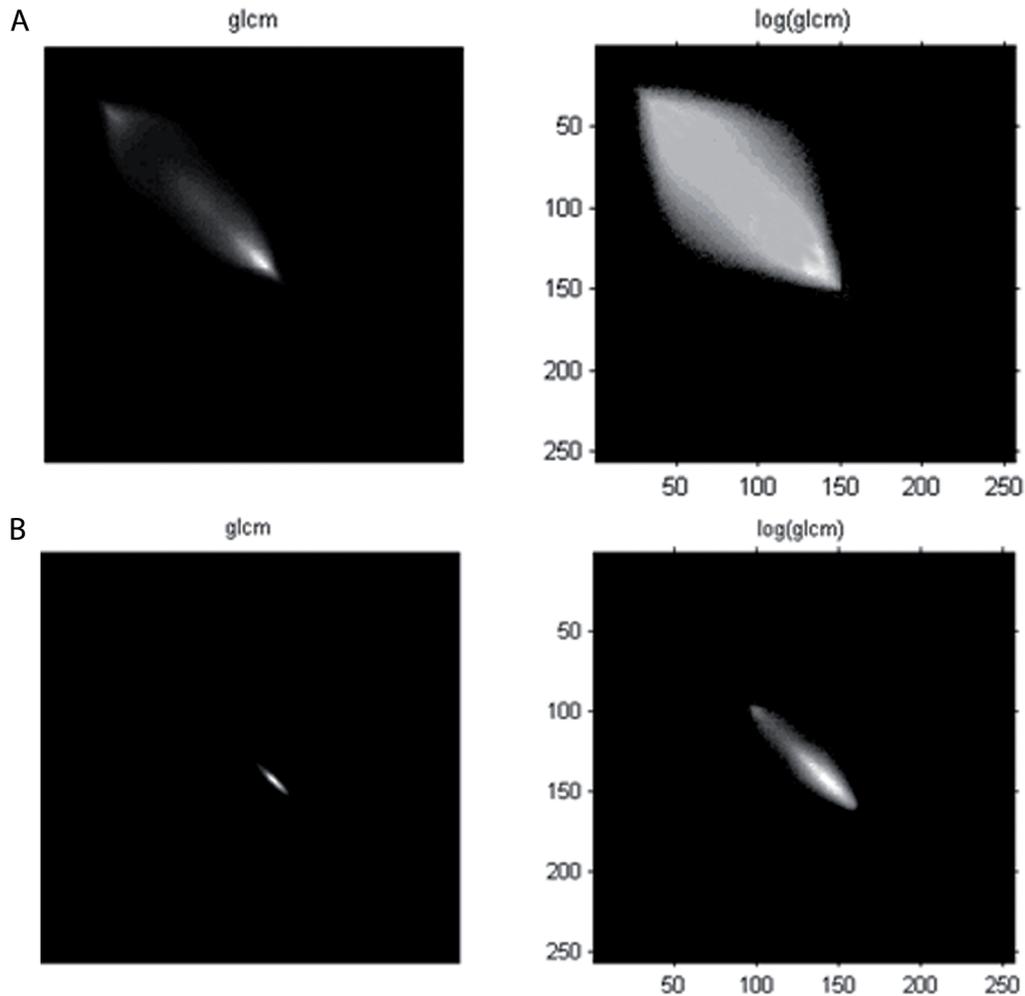


Figura 3. Matriz de co-ocurrencia de a) una parcela de frutal y b) de una parcela de suelo arado.

la siguiente cuestión ¿Es posible utilizar una parte de la parcela, igual en tamaño y forma para todas ellas, sin perder información? Simplificar la forma de la parcela y reducir el área de cálculo a una superficie representativa mínima (SMR), facilitaría la extracción de información textural de grandes volúmenes de información.

Definición de SMR

La superficie mínima representativa de una textura (SMR) es la superficie que se precisa para que un conjunto de píxeles siga un patrón concreto cuantificable y estable. Para definir la SMR del frutal para los parámetros texturales de Haralick nos basamos en el análisis del

semivariograma, que aporta información sobre el ciclo de la textura y el tamaño de los elementos repetidos que la componen, y la comparación de medias de los parámetros de Haralick calculados sobre regiones cuadradas de diferentes tamaños.

Estudio del ciclo de la textura de la clase Frutal

Existen diferentes herramientas geo-estadísticas que permiten describir el patrón y la escala de distribución de una variable espacial. En concreto, el semivariograma explica como cambia la semivarianza entre observaciones con la distancia (Bachmaier and Bacles, 2008).

La textura, definida como la distribución de ND de una imagen, puede considerarse una variable espacial desde el punto de vista geoestadístico (Coburn and Roberts, 2004). Este hecho permite la utilización del semivariograma en el análisis de la textura. En el estudio de una imagen el semivariograma se estima como:

$$\gamma = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad [1]$$

siendo $Z(x_i)$ el valor del ND de la imagen en un píxel localizado en x_i , $Z(x_i+h)$ el valor de ND en un píxel distante h del anterior y $N(h)$ el número de pares de datos separados por una distancia h .

Normalmente, el semivariograma es una función monótona creciente que alcanza un límite, denominado meseta, que se consigue para un valor h dado o rango. Sin embargo, la semivarianza entre dos píxeles no siempre aumenta con la distancia hasta alcanzar un máximo estable. Si la imagen presenta una textura regular, el semivariograma presentará un patrón cíclico. Partiendo de la apariencia cíclica de este tipo de semivariograma, es posible establecer características cuantitativas del patrón estructural de la textura de la imagen, la distancia entre estructuras repetidas o la regularidad de los patrones (Balaguer *et al.*, 2010).

La relación existente entre el semivariograma y las propiedades estructurales de la textura de una imagen, ayuda a definir la superficie mínima representativa de una textura (SMR). En esta fase se estudia el ciclo de la textura del frutal para identificar las características de los elementos de repetición que la componen. Para realizar este estudio se han tomado 5 muestras de diferentes tamaños (anchura \times longitud: 5 \times 10 m, 5 \times 20 m, 5 \times 40 m, 5 \times 80 m, 10 \times 10 m, 10 \times 20 m, 10 \times 40 m, 10 \times 80 m, 20 \times 20 m, 20 \times 40 m, 20 \times 80 m, 40 \times 40 m, y 40 \times 80 m) en 10 parcelas representativas de Frutal en Navarra y se ha calculado el semivariograma experimental para cada una de las muestras.

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de cómo varía el semivariograma experimental omnidireccional al modificar el tamaño del recinto

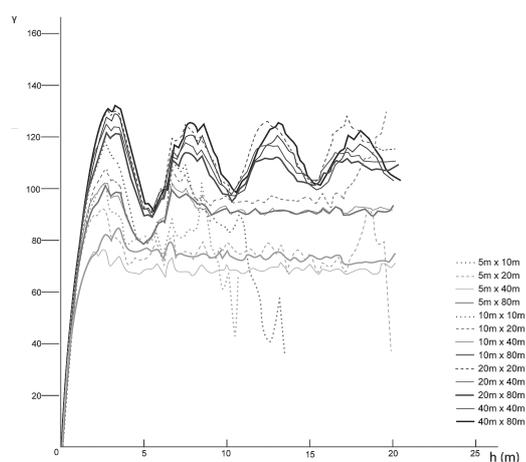


Figura 4. Semivariograma experimental omnidireccional calculado para superficies de diferente tamaño.

sobre el que se calcula en una parcela de frutal. Se observa que al variar el tamaño y la forma de la muestra el semivariograma cambia. Puede verse cómo al ensancharse la región de cálculo, el semivariograma se ajusta a la función sinusoidal característica de las texturas periódicas, mientras que al alargarse, el semivariograma omnidireccional se achata. Los semivariogramas calculados a partir de muestras de 5 m de anchura apenas muestran efecto agujero para las longitudes de muestra estudiadas. Es a partir de los 10 m de anchura cuando este efecto comienza a distinguirse, observándose con cierta claridad un primer máximo y un primer mínimo. Una vez la anchura sobrepasa los 20 m, la localización de máximos y mínimos se estabiliza. La semivarianza observada en las posiciones mínimas también permanece constante mientras que en los máximos varía, disminuyendo ligeramente al aumentar la longitud de la región de cálculo. La distancia entre máximos aporta información sobre el tamaño de la elemento de repetición o patrón estructural de la textura de una imagen. En este ejemplo, el tamaño del patrón de repetición es aproximadamente 5 m, sin embargo las muestras de 5 m de anchura y, en menor medida, de 10 m generan semivariogramas poco definidos que no describen el ciclo que la textura de manera fiable. Esto indica que no es posible reconocer la textura del frutal si no se cuenta al menos con un número mínimo de elementos de repetición, los cuales definen la su-

Tabla 1. Resultados de los test Anova(A)/Welch(W) y de las pruebas post-hoc de Duncan

	Test	Sig	5x5	10x10	15x15	20x20	25x25	30x30	35x35	40x40	45x45	50x50
ASM	W	0.00										
ENT	A	0.00										
HOM	W	1.00										
MEAN	W	0.99										

perficie mínima representativa de dicha textura. Analizando la figura, se escoge la muestra de 20 × 20 m como unidad mínima representativa de la textura de la clase Frutal. Para corroborar esta elección se realiza un análisis de la influencia del tamaño de la parcela en los parámetros de Haralick.

Análisis de la influencia del tamaño de la parcela en los parámetros de Haralick

Con el fin de estudiar la influencia del tamaño de la parcela de cálculo en los parámetros texturales de Haralick se realiza un test de comparación de medias. Este análisis pretende comprobar la existencia de diferencias significativas entre los parámetros texturales calculados sobre regiones de diferentes tamaños utilizando la banda semisuma del rojo y el verde. Para ello, se escogen 100 parcelas de frutal, donde los árboles se disponen según diferentes marcos de plantación, y se calculan los parámetros texturales de Haralick utilizando regiones cuadradas concéntricas de distinta superficie (5 × 5 m, 10 × 10 m, 15 × 15 m, 20 × 20 m, 25 × 25 m, 30 × 30 m, 35 × 35 m, 40 × 40 m, 45 × 45 m y 50 × 50 m) colocadas sobre el centroide de las mismas. De esta manera, se cuenta con una muestra de 100 observaciones para cada una de las diferentes regiones de cálculo.

Antes de realizar el test de comparación de medias, se comprueba el supuesto de normalidad mediante una prueba Kolmogorov-Smirnov. En caso de resultar negativa se normalizan los datos. Se supondrá o no igualdad de varianzas según la conclusión que se obtenga de la prueba de Levene. Bajo el supuesto de igualdad de varianzas se aplicará el test ANO-

VA (A) mientras que si las varianzas resultan ser distintas se utilizará el test de Welch (W). Una vez realizado el test de igualdad de medias de ANOVA/Welch, en caso de no cumplirse el supuesto de igualdad de medias entre grupos, se aplica un test post-hoc de Duncan que revela cuantas agrupaciones es posible establecer.

Los resultados de los test de igualdad de medias y sus correspondientes pruebas post-hoc se muestran resumidos en la Tabla 1. En la primera columna se nombra el parámetro textural estudiado, en la segunda el test de igualdad de medias aplicado y en la tercera su resultado. Las siguientes columnas presentan los resultados de las pruebas post-hoc resumidos en código de colores.

Las pruebas ANOVA/Welch realizadas, confirman la igualdad de medias entre los parámetros calculados utilizando regiones de diferentes tamaños (Sig. > 0.05) para HOM y MEAN, pero no para ENT y ASM (Sig. < 0.05). En estos casos en los que no se cumple el supuesto de igualdad de medias, se aplica un test post-hoc de Duncan que indica la existencia agrupaciones. En la Tabla 1 se pintan de igual color las muestras cuyas medias son estadísticamente iguales. Para ENT y ASM la media observada en las regiones de 5 × 5 m y 10 × 10 m, además de ser significativamente diferentes entre sí, son distintas al resto. Las regiones de 15 × 15 m y 20 × 20 m se agrupan, tanto para ASM como para ENT, cosa que también ocurre con las regiones superiores a 25 × 25 metros.

En la imagen mostrada en la Figura 5 se observa como varía el valor de las medias en cada una de las regiones cuadradas de cálculo y para cada uno de los parámetros texturales estudiados. La media representada en la figura se calcula sobre las mismas observaciones uti-

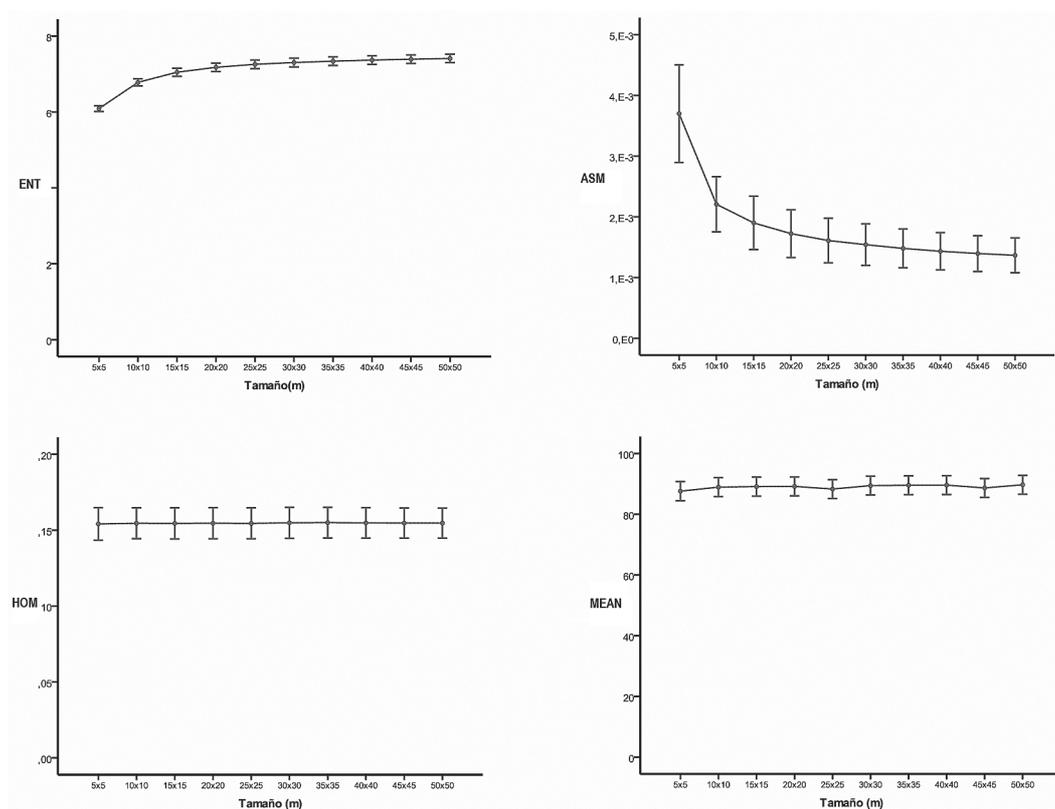


Figura 5. Medias observadas de los parámetros texturales de Haralick para cada una de las regiones cuadradas de cálculo. También se muestra el intervalo de confianza al 95% de cada una de ellas.

lizadas en los test de igualdad de medias. Mientras el valor de HOM y MEAN permanece constante al variar el tamaño del recinto de cálculo, EN y ASM se ven notablemente afectados por esta modificación. Tal y como indica el test de igualdad de medias, el valor de ASM y ENT se estabilizan a partir a partir de 20×20 m.

Analizando los resultados de los test de igualdad de medias y el semivariogramas, se escoge la muestra de 20×20 m como unidad mínima representativa (SMR) de la textura de la clase Frutal.

Procedimiento simplificado para el cálculo de los parámetros texturales basados en la MCNG

Este procedimiento consiste en sustituir cada parcela por una ventana de lado igual a la SMR, colocada sobre el centroide de cada una

de ellas (Figura 6). Una vez segmentada la imagen, la caracterización de la textura se simplifica, ya que únicamente se calcula para estas unidades básicas, todas de igual tamaño, independientemente de la forma y la dimensión de las parcelas catastrales. En este estudio, la sustitución de cada parcela por una ventana de 20×20 m, supone una reducción de más de

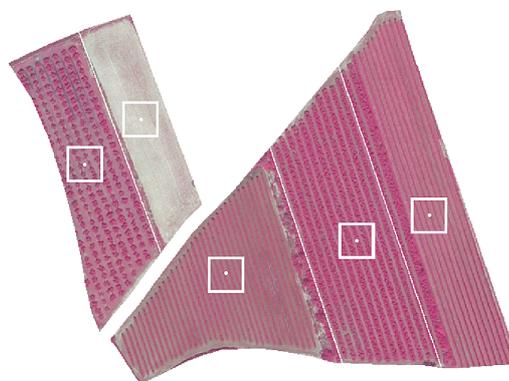


Figura 6. En esta figura se muestra la SMR sobre 5 parcelas muestra.

Tabla 2. Superficie utilizada y tiempos requeridos para calcular los parámetros de textura basados en la MCNG a nivel de SMR y a nivel de parcela

	N.º de objetos	Superficie de cálculo (ha)	Tiempo (s)
SMR	300	12	142
Parcela	300	429.1	510

95% de la superficie utilizada para el cálculo de los parámetros texturales, lo que repercute directamente en el tiempo de cálculo de los mismos al descender notablemente el número de parejas de píxeles a comparar.

En la Tabla 2 se muestra el tiempo consumido por cada procedimiento para calcular los parámetros texturales de Haralick, así como la superficie utilizada en cada uno de los métodos. La simplificación expuesta puede llevarse a cabo en gran parte de los paquetes de tratamiento de imágenes digitales.

Estudio comparativo

Una vez segmentada la imagen y calculados los parámetros texturales mediante los dos procedimientos en 300 parcelas, a nivel de parcela catastral y a nivel de SMR, utilizando software específico de tratamiento de la imagen a nivel de objeto, se estudia la relación existente entre ambos. Para ello se realiza un Análisis de Componentes Principales (ACP) categórico y se cuantifica el grado de correlación lineal.

El ACP permite analizar cualitativamente la interrelación existente entre los parámetros texturales calculados utilizando gráficos de saturación. Estos gráficos de dispersión reflejan donde se sitúa cada uno de los parámetros en el espacio definido por los factores extraídos. Las coordenadas de cada parámetro en cada factor representan la correlación de dicho parámetro con cada uno de los factores. Además, la proximidad entre los parámetros indica el grado de correlación que existe entre ellos. El análisis visual de estos gráficos resulta de gran utilidad para comprender cómo se agrupan los parámetros entre sí.

Posteriormente, para cuantificar el grado de relación lineal entre los parámetros calculados por estos dos procedimientos, se utilizan los

coeficientes de correlación de Pearson (r) o Spearman (ρ), según los parámetros sigan o no una distribución normal. Tras calcular r y ρ se analiza la significación de dichos coeficientes. Para ello, se contrasta la hipótesis nula de que el coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuya correlación es cero. Este análisis permite conocer si la correlación es consecuencia del azar.

Resultados

En el gráfico de saturaciones (Figura 7) que definen la primera (CP1) y segunda (CP2) componentes principales, se observa que los parámetros calculados a nivel de parcela catastral y los extraídos a nivel de SMR se sitúan en posiciones muy cercanas, lo que indica alta correlación entre ellos.

Los parámetros calculados a nivel de parcela y los extraídos a nivel de SMR presentan correlaciones superiores a 0.95 en todos los casos (Tabla 3), lo que corrobora la fuerte relación observada en el gráfico de saturaciones.

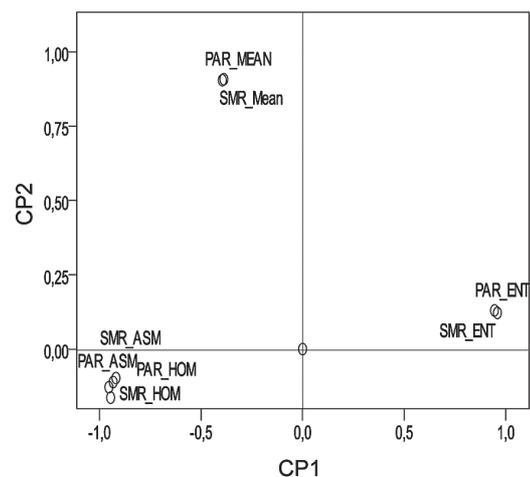
**Figura 7.** Gráfico de saturación creado por la primera y la segunda componente del ACP.

Tabla 3. Coeficiente de correlación. Todas las observaciones son significativas al 99%

HOM	$\rho = 0.964$
ASM	$\rho = 0.968$
MEAN	$\rho = 0.971$
ENT	$\rho = 0.977$

Conclusiones

Las altas correlaciones obtenidas, analizadas sobre más de 300 parcelas de frutal con diferente marco de plantación, indican que los descriptores calculados a nivel de SMR aportan el mismo tipo de información que los extraídos a nivel de parcela catastral. Todas las correlaciones son significativas al 99%, lo que muestra que la relación observada no es fruto del azar. Esto implica que es posible caracterizar la textura de parcelas de frutal en Navarra utilizando únicamente una SMR de 20×20 m.

Esta simplificación resulta posible por tratarse de un cultivo de plantación estructurada y homogénea intra e interparcela. Por un lado, las corrientes actuales en fruticultura proponen que el replanteo de frutales debe fundamentarse en la disposición de bloques uniformes y separados por especies (Cambra and Cambra, 1991). Dentro de cada uno de estos bloques, la distancia entre árboles o marco de plantación debe adecuarse al vigor previsible del árbol y a la necesidad de dejar anchura suficiente para la maquinaria. Estos dos factores, constantes para cada bloque, confieren a las plantaciones de frutal una apariencia texturada regular y muy homogénea. Si en una misma parcela catastral coexisten dos texturas o cultivos diferentes, al tender a disponerse en bloques homogéneos, el problema podría solucionarse afinando la segmentación dentro de cada parcela. Por otro lado, los factores de influencia anteriormente citados se conjugan para lograr el máximo aprovechamiento del espacio, por lo que los marcos de plantación están bastante establecidos. En Navarra las distancias más habituales en vaso son 5×5 m, 5×4 m, 4×4 m y en espaldera 4m entre hileras y entre 2-3 entre árboles. Dado que la SMR es función del marco de plantación, podría ajustarse la SMR a cada uno de ellos, sin em-

bargo se ha delimitado una SMR válida para los marcos más habituales en Navarra, cuya eficacia ha sido comprobada.

La aplicación de esta simplificación resulta útil cuando se trata de discriminar una cubierta concreta, con un patrón textural característico como el del frutal, de cualquier otra. Este análisis forma parte de un trabajo más amplio cuyo objetivo es actualizar el Registro de Frutales de Navarra, por lo que la aplicación de la simplificación explicada pretende facilitar dicho procedimiento. La actualización de un Registro de Frutales antiguo a una fecha actual implica tanto identificar las nuevas plantaciones como las parcelas donde los frutales han sido arrancados. Por un lado, la identificación de frutal/arranque queda delimitada en las parcelas de frutal del registro antiguo, mientras que la búsqueda de nuevas plantaciones se restringe a parcelas de cultivos herbáceos en regadío, por ser una sucesión de cultivos habitual en Navarra. En este caso, tanto los cultivos herbáceos en regadío como los arranques de frutal presentan, habitualmente, una textura discriminable de la del frutal en una superficie de 20×20 m.

Calcular los parámetros de textura basados en la MCNG en una ventana, simplifica el procedimiento de caracterización de la textura de una parcela, siendo éste aplicable utilizando cualquier software de procesamiento de imágenes que tenga un módulo de cálculo de texturas a través de ventanas móviles.

Aunque a priori no era el objeto de este estudio, de los resultados del mismo se deriva que los parámetros texturales de Haralick requieren una región mínima de 20×20 m para caracterizar la textura del frutal de manera estable y general en Navarra. Esto limita el tamaño de parcela reconocible utilizando parámetros texturales de Haralick a parcelas de 20 m en la perpendicular a la dirección principal del cultivo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del subprograma FPI-INIA 2008-2011 del Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria (INIA).

Referencias

- BACHMAIER, M. & BACKES, M. 2008. Variogram or Semivariogram. Explaining the Variances in a Variogram. Precision Agriculture. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- BALAGUER, A., RUIZ, L.A., HERMOSILLA, T. & RECIO, J.A. 2010. Definition of a comprehensive set of texture semivariogram features and their evaluation for object-oriented image classification. *Computers & Geosciences* 36(2): 231-240.
- BARALDI, A. & PARMIGGIANI, F. 1995. An investigation of the textural characteristics associated with gray-level cooccurrence matrix statistical parameters. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 33(2): 293-304.
- BENZ, U.C., HOFMANN, P., WILLHAUCK, W., LINGENFELDER, I. & HEYNEN, M. 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 58 (3-4): 239-258.
- BLASCHKE, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65(1): 2-16.
- BLASCHKE, T., BURNETT, C. & PEKKARINEN, A. 2004. Image segmentation methods for object-based analysis and classification. Remote sensing image analysis Including the spatial domain. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 211-223.
- CAMBRA, M & CAMBRA, R. 1991. Diseños de plantación y formación de árboles frutales, 8ª ed., Zaragoza, EEAD, 1991 (*Cuadernos de la Estación Experimental de Aula Dei*, n.º 1).
- COBURN, C. A. & ROBERTS, A.C.B. 2004. A multiscale texture analysis procedure for improved forest stand classification. *International Journal of Remote Sensing* 25(20): 4287-4308.
- COGGINS, J.M. & JAIN, A.K. 1985. A spatial-filtering approach to texture analysis. *Pattern Recognition Letters* 3(3):195-203
- HARALICK, R.M., SHANMUGA.K. & DINS-TEIN, I. 1973. Textural features for image classification. *Ieee Transactions on Systems Man and Cybernetics* SMC3(6): 610-621.
- LLOYD, C.D., BERBEROGLU, S., CURRAN, P.J. & ATKINSON P.M. 2004. *Int. J. of Remote Sensing* 25 (19):3943-3965.
- PARKKINEN, J., SELKAINAHO, K. & OJA, E. 2003. Detecting texture periodicity from the co-occurrence matrix. *Pattern Recognition Letters* 11(1): 43-50
- PUISSANT, A., HIRSCH, J. & WEBER, C. 2005. The utility of texture analysis to improve per-pixel classification for high to very high spatial resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing* 26(4): 733 - 745.
- ZHANG, Q., WANG, J., GONG, P. & SHI, P. 2003. Study of urban spatial patterns from SPOT panchromatic imagery using textural analysis. *International Journal of Remote Sensing* 24(21): 4137-4160.