

# Índice

---

<b>1. Introducción</b>	1
1.1. Problemática y líneas de trabajo existentes .....	5
1.2. Contenido de la tesis.....	8
<b>2. Antecedentes sobre Análisis de Texturas</b>	9
2.1. Definición de textura.....	9
2.2. Objetivos del estudio de texturas .....	13
2.3. Las texturas en las imágenes de la superficie terrestre.....	14
2.4. Estado del arte en el análisis de texturas: metodologías y aplicaciones ....	17
2.4.1. Métodos estadísticos .....	17
2.4.2. Métodos estructurales o geométricos.....	18
2.4.3. Métodos basados en modelos .....	19
2.4.4. Enfoque mediante transformadas .....	20
2.4.5. Aplicaciones .....	21
2.5. Observaciones sobre los métodos de análisis de texturas .....	38
<b>3. Objetivos</b>	43
3.1. Objetivos generales y específicos .....	43
<b>4. La Transformada Wavelet</b>	47
4.1. Introducción a la Teoría Wavelet: historia y definiciones.....	47
4.2. Bancos de Filtros .....	54
4.2.1. Preliminares sobre filtros .....	55
4.2.2. Filtros QMF.....	58
4.2.3. Filtros CMF (CQF).....	59
4.2.4. Filtros Ortonormales.....	60
4.3. Transformada de Haar .....	62
4.3.1. Transformada de Haar a nivel 1 .....	62

## ÍNDICE

---

4.3.2.	Transformada de Haar de niveles sucesivos.....	63
4.3.3.	Transformada wavelet de Haar .....	64
4.4.	La Transformada Wavelet Continua Unidimensional (CWT).....	66
4.5.	Propiedades de la Transformada Wavelet .....	70
4.6.	Transformada Wavelet frente a Transformada de Fourier .....	73
4.7.	Modelos de aplicación de la Transformada Wavelet.....	76
4.7.1.	La Transformada Wavelet Discreta .....	77
4.7.2.	Análisis Multiresolución.....	81
4.7.3.	Wavelet Frames Discreta (DWF).....	86
4.7.4.	Otras transformadas redundantes.....	88
4.7.4.1.	Algoritmo "à trous".....	89
4.7.4.2.	Algoritmo "shift4".....	90
4.7.4.3.	Transformada Wavelet Packet .....	91
4.7.5.	La Transformada Wavelet Rápida (FWT) .....	92
4.7.6.	Bases Ortonormales Wavelet Bidimensionales.....	95
4.7.7.	Transformada Wavelet Rápida en dos dimensiones. ....	96
<b>5.</b>	<b>Datos de trabajo</b>	<b>103</b>
5.1.	Tipologías de las superficies .....	103
5.1.1.	Zonas urbanas y peri-urbanas .....	104
5.1.2.	Zonas rurales mediterráneas.....	108
5.1.3.	Zonas agrícolas.....	114
5.1.4.	Zonas de montaña con vegetación natural .....	116
5.1.5.	Zonas de montaña mixtas.....	121
<b>6.</b>	<b>Metodología de los ensayos realizados</b>	<b>127</b>
6.1.	Preprocesado de las imágenes de partida .....	129
6.1.1.	Correcciones geométricas .....	129
6.1.2.	Correcciones radiométricas .....	129
6.1.3.	Elaboración de mosaicos.....	130
6.2.	Análisis de las diferentes variables de textura.....	131

## ÍNDICE

---

6.2.1.	Índices estadísticos de primer orden .....	131
6.2.2.	Índices estadísticos de segundo orden .....	133
6.2.3.	Signaturas o variables wavelet .....	136
6.2.4.	Signaturas de energía .....	137
6.2.5.	Signaturas del histograma .....	138
6.2.6.	Filtros de energía textural o de Laws .....	139
6.2.6.1.	Densidad de bordes .....	141
6.2.7.	Filtros de Gabor .....	143
6.2.8.	Selección de variables de textura.....	146
6.3.	Determinación de los parámetros metodológicos globales .....	147
6.3.1.	Determinación de la resolución espacial óptima .....	148
6.3.2.	Determinación de la resolución radiométrica óptima.....	150
6.3.3.	Determinación del mejor vecindario de cálculo de textura.....	152
6.3.4.	Algoritmos de aplicación de la Transformada Wavelet .....	153
6.3.4.1.	Aplicación práctica de los algoritmos .....	153
6.3.5.	Niveles de descomposición de la Transformada Wavelet .....	155
6.3.6.	Aplicación de la Transformada Wavelet Rápida: implementación mediante bancos de filtros.....	156
6.3.6.1.	Familias de funciones wavelet empleadas en los cálculos ...	158
6.3.6.2.	Wavelet de Haar .....	160
6.3.6.3.	Wavelet Daubechies .....	161
6.3.6.4.	Wavelet Coiflet.....	163
6.3.6.5.	Wavelet Symlet .....	163
6.3.6.6.	Wavelet de Battle-Lemarié .....	166
6.3.6.7.	Wavelet de Shannon.....	166
6.3.6.8.	Wavelet de Meyer .....	167
6.3.6.9.	Esquema de trabajo aplicado mediante bancos de filtros....	167
6.3.7.	Selección de parámetros asociados a las funciones wavelet .....	169
6.3.8.	Método de clasificación empleado.....	170
6.3.9.	Evaluación de las clasificaciones .....	174
6.4.	Tratamiento post-clasificación de las zonas de bordes.....	175
6.4.1.	Segundas varianzas.....	177

## ÍNDICE

---

6.4.2.	Bordes de la media .....	178
6.4.3.	Filtros de Canny.....	179
6.4.4.	Bordes de la clasificación inicial.....	181
<b>7.</b>	<b>Resultados experimentales y discusión</b>	<b>183</b>
7.1.	Introducción y justificación .....	183
7.2.	Análisis de variables de textura.....	184
7.2.1.	Eficiencia de las variables estadísticas de 1 <sup>er</sup> y 2 <sup>o</sup> orden y derivadas del histograma: energía y asimetría .....	184
7.2.2.	Eficiencia de otras variables de textura: filtros wavelet, Gabor y Laws .....	188
7.3.	Análisis de parámetros metodológicos .....	191
7.3.1.	Determinación de la resolución espacial óptima .....	191
7.3.2.	Determinación de la mejor resolución radiométrica .....	196
7.3.3.	Vecindario óptimo de cálculo de variables de textura.....	198
7.3.4.	Ensayos sobre el algoritmo empleado para el cálculo de la Transformada Wavelet .....	200
7.3.5.	Niveles y familias empleadas en la Transformada Wavelet .....	201
7.4.	Verificación global de las variables y parámetros óptimos obtenidos .....	204
7.4.1.	Datos de partida para las pruebas .....	205
7.4.2.	Verificación de los grupos de variables texturales.....	206
7.4.3.	Verificación de todas las familias de funciones wavelet .....	207
7.5.	Tratamiento post-clasificación de las zonas frontera.....	212
7.6.	Discusión de los resultados.....	215
<b>8.</b>	<b>Conclusiones y líneas futuras</b>	<b>219</b>
8.1.	Conclusiones .....	219
8.2.	Posibles líneas futuras de investigación.....	223
8.3.	Agradecimientos .....	226
<b>9.</b>	<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>227</b>

## **ÍNDICE**

---

<b>10. Anejos</b>	241
10.1. Ficha de trabajo de campo .....	241
10.2. Coeficientes de los bancos de filtros .....	243
10.3. Listado de rutinas programadas .....	245