

ÍNDICE

LISTADO DE FIGURAS	7
LISTADO DE TABLAS	11
LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	13
LISTADO DE UNIDADES	17
1. VISIÓN POR COMPUTADOR EN AGRICULTURA	19
1.1 INTRODUCCIÓN	20
1.2 LOS FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN POR COMPUTADOR.....	21
1.2.1 Iluminación.....	22
1.2.2 Adquisición de imágenes.....	24
1.3 APLICACIONES DE VISIÓN POR COMPUTADOR EN LA INSPECCIÓN DE CARACTERÍSTICAS EXTERNAS ..	27
1.3.1 Uso de la información de color.....	27
1.3.2 Estimación de tamaño y volumen	29
1.3.3 Estimación de la forma.....	30
1.3.4 Textura	31
1.3.5 Detección de defectos externos.....	32
1.4 SISTEMAS DE INSPECCIÓN EN CAMPO	37
1.5 SISTEMAS DE INSPECCIÓN AUTOMÁTICA EN TIEMPO REAL.....	39
1.6 DISCUSIÓN	41
2. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	43
2.1 MARCO DE LA TESIS.....	46
2.2 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	47

3.	NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE FRUTA EN CAMPO	49
3.1	INTRODUCCIÓN	50
3.2	OBJETIVOS	51
3.3	CREACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN	52
3.3.1	<i>Diseño de la campana de inspección.....</i>	<i>52</i>
3.3.1.1	Diseño y configuración de la estructura del sistema de visión	53
3.3.2	<i>Diseño del sistema de adquisición de imágenes</i>	<i>58</i>
3.3.2.1	Análisis de la escena	58
3.3.2.2	Cámaras y ópticas empleadas	62
3.3.2.3	Ajustes de las cámaras	64
3.3.2.4	Integración de las cámaras en el sistema	65
3.3.3	<i>Diseño del sistema de iluminación</i>	<i>67</i>
3.3.3.1	Tipos y técnicas de iluminación	67
3.3.3.2	Elección del sistema de iluminación	69
3.3.3.3	Implementación del sistema de iluminación seleccionado	71
3.4	ANÁLISIS DE LA FRUTA	73
3.4.1	<i>Algoritmos de entrenamiento</i>	<i>73</i>
3.4.2	<i>Proceso de inspección en línea usando el Sistema PC.....</i>	<i>76</i>
3.4.2.1	Adquisición de la imagen.....	76
3.4.2.2	Segmentación.....	79
3.4.2.3	Filtrado	80
3.4.2.4	Análisis del contorno	81
3.4.2.5	Detección de los defectos	82
3.4.2.6	Estimación del calibre.....	83

3.4.2.7	Estimación del índice de color	83
3.4.2.8	Envío de resultados al control de la máquina.....	85
3.4.3	<i>Proceso de inspección en línea usando el Sistema Inteligente.....</i>	<i>85</i>
3.4.3.1	Adquisición de la imagen.....	86
3.4.3.2	Segmentación.....	86
3.4.3.3	Estimación del calibre.....	87
3.4.3.4	Estimación del índice de color	88
3.4.3.5	Envío de resultados	88
3.4.4	<i>Ensayos realizados usando el Sistema PC.....</i>	<i>88</i>
3.4.4.1	Estimación del calibre y peso	89
3.4.4.2	Detección de defectos.....	89
3.4.4.3	Estimación del color	90
3.4.5	<i>Ensayos empleando el Sistema Inteligente</i>	<i>90</i>
3.4.5.1	Estimación del calibre.....	91
3.4.5.2	Estimación del color	91
3.5	RESULTADOS	91
3.5.1	<i>Ensayos realizados usando el Sistema PC.....</i>	<i>91</i>
3.5.1.1	Estimación del calibre.....	91
3.5.1.2	Estimación del peso.....	93
3.5.1.3	Estimación del color	94
3.5.1.4	Detección de defectos.....	96
3.5.1.5	Estimación del tiempo de procesamiento.....	97
3.5.2	<i>Ensayos empleando el Sistema Inteligente</i>	<i>97</i>
3.5.2.1	Estimación del calibre.....	97

3.5.2.2	Estimación del peso.....	99
3.5.2.3	Estimación del color	100
3.5.2.4	Estimación del tiempo de procesamiento.....	103
3.6	DISCUSIÓN.....	104
4.	NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE ARILOS DE GRANADA (<i>PUNICA GRANATUM L</i>) BASADAS EN VISIÓN POR COMPUTADOR.....	107
4.1	INTRODUCCIÓN	108
4.2	OBJETIVOS	110
4.3	MATERIALES Y MÉTODOS	110
4.3.1	<i>Unidad de alimentación: separación y transporte de los objetos</i>	<i>111</i>
4.3.2	<i>Unidad de inspección y sistema de visión por computador.....</i>	<i>112</i>
4.3.2.1	Adquisición y análisis de imágenes en línea	115
4.3.2.2	Selección de la forma de representar el color de los objetos.....	117
4.3.3	<i>El sistema de clasificación</i>	<i>119</i>
4.3.4	<i>Pruebas del prototipo en condiciones comerciales. Evaluación global de su rendimiento.....</i>	<i>123</i>
4.4	RESULTADOS	124
4.4.1	<i>Unidad de alimentación y transporte.....</i>	<i>124</i>
4.4.2	<i>Unidad de inspección y sistema de visión por computador.....</i>	<i>127</i>
4.4.2.1	Optimización del análisis mediante umbrales. Comparación con LDA.....	127
4.4.2.2	Velocidad de procesamiento.....	130
4.4.3	<i>Unidad de clasificación.....</i>	<i>131</i>
4.4.4	<i>Ensayos intensivos bajo condiciones comerciales</i>	<i>131</i>

4.5	DISCUSIÓN	134
5.	NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE GAJOS DE SATSUMA (CITRUS UNSHIU) BASADAS EN VISIÓN POR COMPUTADOR.....	135
5.1	INTRODUCCIÓN	136
5.2	OBJETIVOS	138
5.3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	139
5.3.1	<i>Unidad de alimentación: separación y transporte de los objetos</i>	<i>140</i>
5.3.2	<i>Unidad de inspección y sistema de visión por computador.....</i>	<i>140</i>
5.3.2.1	Adquisición de imágenes y análisis en línea	142
5.3.2.2	Discriminación de los objetos de interés.....	142
5.3.2.3	Análisis de las imágenes. Parámetros morfológicos estudiados	145
5.3.2.4	Análisis estadístico y evaluación de los datos	147
5.3.3	<i>El sistema de clasificación</i>	<i>148</i>
5.3.4	<i>Prueba del prototipo. Evaluación global de su rendimiento</i>	<i>150</i>
5.4	RESULTADOS	152
5.4.1	<i>Unidad de inspección y sistema de visión por computador.....</i>	<i>152</i>
5.4.2	<i>Velocidad de procesamiento</i>	<i>153</i>
5.4.3	<i>Pruebas intensivas en condiciones comerciales</i>	<i>154</i>
5.5	DISCUSIÓN	154
6.	CONTRIBUCIONES DE LA TESIS	155
6.1	REVISTAS RECOGIDAS EN EL JCR	156
6.2	ARTÍCULOS EN OTRAS REVISTAS CIENTÍFICAS INTERNACIONALES.....	156
6.3	LIBROS Y CAPÍTULOS DE LIBROS.....	156

6.4	PUBLICACIONES DE DIVULGACIÓN	156
6.5	CONTRIBUCIONES EN CONGRESOS	157
6.6	PATENTES OBTENIDAS	158
7.	CONCLUSIONES	159
7.1	SISTEMA DE INSPECCIÓN DE FRUTA EN CAMPO.....	159
7.2	SISTEMA DE INSPECCIÓN DE FRUTA PROCESADA	160
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
ANEXO I.	DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA MÓVIL DE RECOLECCIÓN	175
ANEXO II.	TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN	179
ANEXO III.	SOFTWARE DE ENTRENAMIENTO	183
ANEXO IV.	SOFTWARE DE INSPECCIÓN DE CÍTRICOS	189
ANEXO V.	FÓRMULAS DE CONVERSIÓN DE COLOR	193
ANEXO VI.	SOFTWARE DE INSPECCIÓN DE ARILOS DE GRANADA.....	197
ANEXO VII.	SOFTWARE DE INSPECCIÓN DE GAJOS DE SATSUMA	199