

# PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN LA DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS EN PINO RADIATA

**Eduardo Canales Carrasco**  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Católica del Maule  
Casilla 617  
Talca  
ecanales@spock.ucm.cl

**Hubert Hoffmann Nagel**  
Departamento de Informática  
Universidad Técnica Federico Santa María  
Casilla 110-V  
Valparaíso  
hoffmann@inf.utfsm.cl

**Claudio Rodríguez Figueroa**  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
Universidad Católica del Maule  
Casilla 617  
Talca  
rodrigue@spock.ucm.cl

## Resumen

Este trabajo presenta una estrategia general, para atacar el problema de la detección e identificación automática de defectos en madera elaborada de Pino Radiata. Estas dos funciones son requeridas para innovar el control de calidad.

A partir de imágenes digitalizadas de piezas de madera, adquiridas mediante un sistema cámara-computador, se utilizan las técnicas del procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones en un programa desarrollado en C++.

**Keywords:** Procesamiento de Imágenes, Reconocimiento de Patrones, Detección de Defectos en Madera, Análisis de Textura.

## 1. Introducción

El Pino Radiata es originario de la península de Monterrey, en Norteamérica, y fue introducido en Chile hace unos 100 años, encontrando condiciones climáticas y de suelos, especialmente entre la VII y IX regiones, que permiten que esta especie alcance 30 a 40 metros de altura en mucho menos tiempo que en su tierra de origen y otras partes del mundo.

A partir de la década de 1930, las plantaciones artificiales en Chile están afectas a incentivos tributarios. Con esta combinación de ventajas naturales y fiscales, el Pino Radiata va adquiriendo gran popularidad que, sumada a una adecuada infraestructura caminera y la cercanía de puertos de embarque, han significado que entre la VII y IX regiones se conforme el bosque de Pino Radiata más extenso del mundo.

De acuerdo a estudios realizados por entidades especializadas, la disponibilidad total de trozos aserrables será cercano a 16.2 millones de  $m^3$  en el año 2000, más del doble del consumo actual. Este crecimiento se deberá en mayor medida al aumento de la superficie de plantaciones de Pino Radiata, lo que permitirá elevar el consumo de trozas aserrables de esta especie a 13 millones de  $m^3$  anuales hacia fines de siglo, y a 26 millones de  $m^3$  en el año 2017 [OSS94].

En general, en los procesos de aserreo y elaboración, en la actualidad, no existe un sistema formal de control de calidad para identificar los defectos funcionales y cosméticos. Las empresas que tienen un sistema de control de calidad lo realizan por medio de inspecciones visuales cuyo desempeño es generalmente inadecuado y variable. Sin embargo, es aún el sistema más ampliamente usado en el mundo.

El sistema visual humano está adaptado para desempeñarse en un mundo de variabilidad y cambio. El proceso de inspección visual, por otra parte, requiere la observación del mismo tipo de imagen repetidamente para detectar anomalías. Algunos estudios [CHI82], muestran que la exactitud de la inspección visual humana declina con trabajos rutinarios, aburridos e interminables, lo que trae como resultado inspecciones lentas, costosas y erráticas. La inspección automática es obviamente la alternativa a la inspección visual incrementando la productividad y mejorando la calidad del producto.

Aprovechando las técnicas del procesamiento de imágenes, en este trabajo se desarrolla un conjunto de técnicas y algoritmos para atacar el problema de la detección automática de defectos requerida para el control de calidad de la madera elaborada de Pino Radiata, a partir de imágenes digitalizadas adquiridas mediante un sistema cámara-computador.

El objetivo del análisis de imágenes no sólo es desarrollar un conjunto de mediciones que permitan clasificar los defectos, sino idear un esquema que minimice el número de cálculos requeridos en el examen de cada pieza de madera.

## 2. Análisis del Problema

Cuando se enfrenta el problema de detección de defectos en madera elaborada se debe, como primer paso encontrar un marco teórico de trabajo que permita plantear y formalizar el problema. Para ello se debe responder la pregunta *¿ qué se entiende por defecto ?*

La norma chilena Nch 992 [NCH95a], define defecto como *“ cualquier irregularidad física o química, o fisico-química de la madera que afecte su aspecto, resistencia o durabilidad, determinando generalmente una limitación en su uso o aplicación”*.

De lo anterior se desprende la necesidad de que existan métodos de clasificación que dependan del uso que se va a dar a la madera. Dos son los principales tipos de clasificación que se conocen para madera elaborada: por aspecto y por resistencia.

La clasificación por aspecto se establece basándose en una inspección visual de las características físicas de las piezas, dando especial importancia a la presentación de la madera para aquellos usos en los cuales su principal requerimiento es su apariencia [NCH95b]. Este tipo de clasificación no considera la resistencia de las piezas clasificadas.

La clasificación de la madera elaborada por resistencia se establece basándose en la presencia, detectada visualmente, de los defectos que influyen sobre su resistencia, principalmente, a los esfuerzos mecánicos [NCH95b].

Para desarrollar un método de clasificación de madera, se debe tener en cuenta ciertas etapas que, si se siguen en el orden adecuado, simplifican el proceso y lo normalizan. Estas etapas son:

1. **Definición de los defectos:** En esta etapa se deben considerar y definir claramente todos los defectos que puedan presentarse en la madera elaborada de Pino Radiata, que sean detectables a simple vista y que interesen en una clasificación.
2. **Determinación de un método de medición de los defectos:** Previamente definidos los defectos, debe procederse a determinar el modo de medirlos. Es importante considerar los diferentes tipos de clasificación que pueden existir (clasificación por aspecto y por resistencia) y determinar un método único de medición de defectos que sea adecuado a todos ellos. Esta última etapa es especialmente importante, por cuanto establece un criterio común y único en la evaluación de los defectos y determina que el

clasificador, en la aplicación práctica, deba "recordar" un solo método de medición de defectos.

3. **Comprobación práctica:** Esta etapa debe realizarse como un medio de verificar que los límites previstos para cada uno de los defectos permitan una clasificación adecuada.

### 3. Estrategia General del Proceso de Detección de Defectos

El elemento principal en el desarrollo de la estrategia involucra resolver el problema del análisis de la imagen. La dificultad está asociada con la natural variación de los defectos que las piezas de madera manifiestan. Dos nudos no son exactamente del mismo tamaño y forma. La apariencia de la madera limpia y las características de los defectos varían de una pieza a otra.

El sistema computacional debe ejecutar dos tareas. Primero debe localizar la posición y extensión de cada defecto presente y segundo, éste debe identificar el tipo de defecto presente en cada situación. La necesidad de este último resulta de la variedad de usos de las piezas.

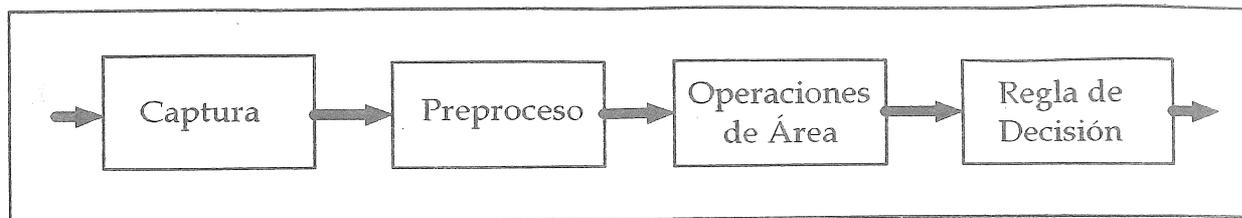
La Tabla I muestra una lista de los principales defectos presentes en la madera de Pino Radiata [NCH79].

1.- Agujeros	7.- Manchas Biológicas
2.- Bolsas de Corteza	8.- Nudos Muertos
3.- Bolsas de Resina	9.- Nudos Vivos
4.- Cantos Muertos	10.- Pecas Claras
5.- Grietas	11.- Pecas Oscuras
6.- Médulas	

Tabla I: Lista de los Principales Defectos Presentes en la Madera de Pino Radiata

La Figura 1 muestra la estrategia general del proceso de detección de defectos utilizada para resolver el problema luego de haber realizado varias pruebas y de acuerdo a la experiencia obtenida de otros trabajos [CAN96a, CAN96b]. La estrategia aplicada se divide en cuatro etapas:

1. Captura de la imagen
2. Preproceso de la imagen,
3. Aplicación de operaciones de área y
4. Aplicación de la regla de decisión.



**Figura 1:** Estrategia general del proceso de detección de defectos

### Captura de la imagen a analizar

La primera etapa consiste en capturar imágenes. Para conseguir las imágenes se utiliza una cámara de vídeo SONY modelo CCD-FX500 de alta resolución. Una vez que la imagen ha sido capturada se envía al computador mediante una tarjeta digitalizadora, con una resolución de 640x480 pixels, y donde cada punto almacenado posee un nivel de gris que varía en un rango de 0 a 255.

Conviene recordar que los monitores de los computadores utilizan el proceso aditivo de formación del color basados solamente en tres colores primarios, el rojo, verde y azul, con los cuales construye otra serie de colores, que dependen del porcentaje que aporte cada uno de ellos [HEA95].

En este trabajo se utilizan imágenes que aparecen en pantalla en tonos de gris. Esto significa que cada pixel tiene el mismo componente de rojo, verde y azul. Un nivel de gris (0,0,0), indica que el pixel será visualizado como negro, mientras que (127,127,127), supone un gris medio y (255,255,255), corresponde a blanco.

### Preproceso de la imagen

Esta segunda etapa se realiza para eliminar los efectos de ruidos o de una iluminación ambiental pobre o no uniforme. Se ensayaron algoritmos para acentuar o realzar aquellas características que hacen a la imagen más apropiada para su posterior presentación y análisis. Los preprocesos experimentados fueron los filtros paso-bajo, los filtro paso-alto, el filtro Modal, el filtro de mayoría y las técnica de modificación de histogramas. En especial los filtros paso bajo han mostrado resultados eficientes utilizando matrices de filtraje de 3 x 3.

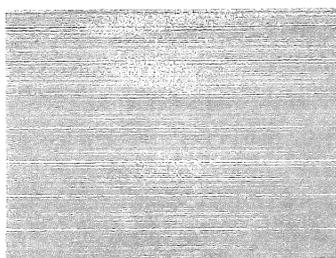
### Operaciones de área

Un método para atacar el problema es la subdivisión de la imagen de la pieza de madera en un conjunto disjunto de regiones rectangulares e independientemente determinar si cada región contiene madera limpia o un particular tipo de defecto. Este método no sólo es simple, sino que tiene la ventaja de permitir una implementación a través de

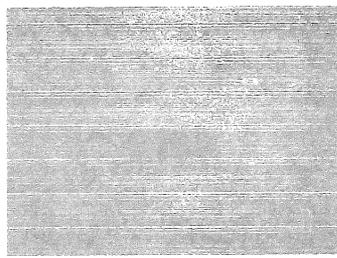
procesamiento paralelo. Consecuentemente, este punto de vista fue adoptado en el estudio.

Cada muestra era una región cuadrada de 80x60 pixels conteniendo madera limpia o algún tipo de defecto. El tamaño de la región, aproximadamente un rectángulo de 0.8x0.6 pulgadas o 2.1x1.6 cm, fue seleccionada heurísticamente. Si algún defecto se encontraba presente en alguna región, ésta automáticamente era asignada a esa clase de defecto.

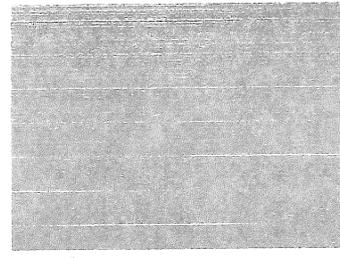
La Figura 2 muestra algunos típicos diseños de madera limpia y madera defectuosa que deberían ser reconocidos por el sistema desarrollado. Examinando la Figura 2 se puede notar que las propiedades tonales de los defectos difieren substancialmente. Por ejemplo, los nudos son significativamente más oscuros que la madera limpia.



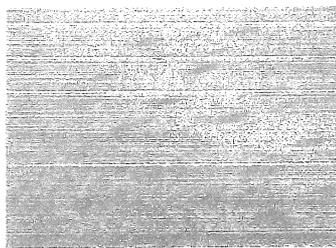
Madera limpia



Bolsas de resina



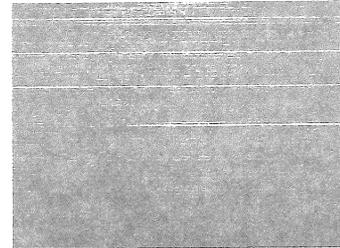
Nudo muerto



Pecas Oscuras



Nudo Vivo



Canto Muerto

Figura 2: Madera limpia y algunos defectos importantes en el Pino Radiata

Consecuentemente con lo anterior las mediciones de la propiedades tonales y de textura fueron utilizadas en el análisis computacional para la obtención de descriptores a partir de estadísticas de primer y segundo orden.

Los descriptores de primer orden medidos y calculados para cada región fueron: media, varianza, coeficiente de asimetría y kurtosis y los de segundo orden fueron: inercia, energía, entropía, homogeneidad local y correlación. El cálculo de los descriptores de segundo orden se basaron en las matrices de coocurrencia [WES76]. Este particular aná-

lisis fue elegido porque este ha sido probado exitosamente en una variedad de problemas de análisis de textura [WAN90].

### Regla de decisión

La clasificación digital se inicia definiendo cada una de las clases de patrones que pretenden discriminarse. Por cuanto se trata de una clasificación numérica, esta definición también debe ser numérica; es decir, se trata de obtener el nivel digital de los pixels (el nivel de gris), o mejor aún el rango del nivel digital que identifica a cada clase de patrón. En términos de su clasificación digital, esto supone que existe una cierta dispersión en torno a los niveles de gris que definen cada clase.

Por lo anterior la fase de entrenamiento resulta ciertamente compleja, pues se trata de definir con rigor cada una de las categorías que pretenden discriminarse, teniendo en cuenta su propia variabilidad. Este objetivo se logra seleccionando una muestra de los pixels de la imagen que representan adecuadamente a las clases de interés. A partir de esos pixels pueden calcularse los descriptores para cada categoría.

Las estimaciones posteriores se basan en las muestras seleccionadas, por lo que una incorrecta selección de éstas conduciría inexorablemente a pobres resultados en la clasificación. Algunos autores han comprobado que los resultados en la clasificación, están mucho más influenciados por la definición previa de las clases, que por el criterio con el que éstas son posteriormente discriminadas [HIX80]. En definitiva, la fase de entrenamiento es fundamental para una exitosa clasificación.

Las clases de patrones consideradas en este trabajo fueron las siguientes:

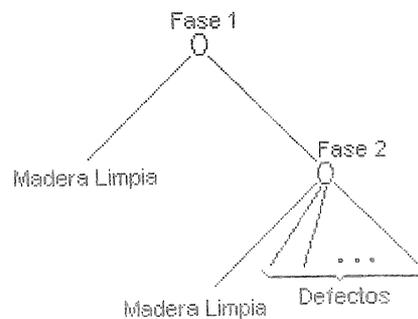
1.- Madera Limpia - ML	4.- Bolsas de Resina - BR	7.- Pecas - PE
2.- Nudos Vivos - NV	5.- Bolsas de Corteza - BC	8.- Grietas - GR
3.- Nudos Muertos - NM	6.- Médulas - ME	9.- Cantos Muertos - CM

El principal problema que involucra la regla de decisión es la carga computacional impuesta en el cálculo de las mediciones de textura. Dada esta complejidad se está forzado a considerar métodos que minimicen la complejidad de los algoritmos.

El método utilizado para resolver este problema fue el uso de un esquema de clasificación secuencial de dos etapas el cual primero intenta separar las muestras de madera limpia de aquellas conteniendo defectos. La segunda etapa del proceso es clasificar los defectos.

La primera etapa requiere sólo el cálculo de las mediciones de primer orden. La segunda etapa usa las mediciones de primer orden pero también requiere el cálculo de las medi-

ciones de textura. La **Figura 3** ilustra el esquema de clasificación secuencial usado para minimizar el costo computacional en la solución del problema de la detección de defectos.



**Figura 3:** Esquema de Clasificación Secuencial usado para minimizar la carga en la solución del problema de la detección de defectos.

La motivación para usar esta clasificación secuencial viene de dos fuentes. Primero, los grados de madera elaborada usadas en la industria, como es el caso de *Finger Joint*, son tales que ellos garanticen que el 100% de cada pieza esté libre de cualquier defecto. Segundo, de acuerdo a trabajos previos demuestran que la simple medición de la tonalidad puede ser usada para separar madera limpia de áreas conteniendo defectos.

En la primera y segunda etapa de este esquema se emplea el clasificador de mínimas distancias [GON74], para asignar cada objeto en la imagen a un patrón y de acuerdo al patrón se determina el tipo de defecto. El conjunto de medidas de los patrones y el de los objetos de cada uno de los cuadrantes se utilizan como entradas del operador de mínima distancia, el cual determina para cada objeto con que patrón se corresponde. El algoritmo, finalmente, establece el o los defectos presentes en cada rectángulo de acuerdo a la clasificación realizada.

#### 4. Conclusiones

La estrategia general de detección de defectos en madera elaborada presentada, se ha simulado mediante programas en C++ y digitalizado un amplio muestrario de piezas de madera, sometidas al método propuesto. La construcción del sistema de software para el procesamiento de imágenes no presenta una gran complejidad. La complejidad proviene del problema a resolver, ya que deben estudiarse las imágenes a procesar y diseñar un procedimiento que se adapte a sus características específicas. La búsqueda de la técnica apropiada no es un proceso trivial.

Ya que la madera puede ser destinada a múltiples usos, que soportan muy diferentes defectos, se hace necesario analizar los destinos a fin de generar para cada uso un algo-

ritmo de selección específico. Por lo tanto, es fundamental ubicar cada pieza dentro de grupos con características semejantes, ya sea de aspecto o de resistencia. Las características de cada grupo deben quedar determinadas por el uso al que será destinada posteriormente la madera. Si se desea emplearla en recubrimientos de cielos o muros, deberá clasificarse según su apariencia o aspecto. La madera destinada a pisos, deberá clasificarse considerando como principal requisito la resistencia que tiene al desgaste.

La elección de los descriptores es fundamental para una adecuada clasificación. El método aplicado y que dio buenos resultados es un diagrama de firmas, donde figuran en el eje de las abscisas las bandas que intervienen en el análisis, y en el eje de las ordenadas los niveles de gris medios de cada clase. Este gráfico resulta muy útil para proporcionar una primera valoración de las tendencias espectrales de cada clase. Las líneas paralelas y próximas indican un probable solape entre las clases, mientras que las intersecciones entre líneas manifiestan las bandas donde es más probable separar a las clases que representan.

Antes de abordar el proceso de clasificación es preciso evaluar la discriminabilidad de las clases de defectos seleccionadas con el objeto de minimizar el riesgo de error. Si se comprueba que dos clases son muy similares, es decir existe una gran probabilidad de confusión entre ellas, se aconseja:

1. Confirmar que las estadísticas de entrenamiento han sido correctamente deducidas y
2. recabar información auxiliar o aumentar el número de muestras.

Para el desarrollo de un sistema que se especialice en la administración de información gráfica de algún área específica, y de esta forma lograr un "experto" reconocedor de imágenes de cierto tipo, es necesario contar con un experto en el área, el cual permitirá definir con precisión cuáles son las características relevantes de la imagen que deben ser tomadas en consideración al momento de generar el código descriptor de ésta.

La detección automática de defectos en madera elaborada de Pino Radiata, utilizando un sistema automático de visión es difícil debido a que el proceso humano de detección es multisensorial, sin embargo, familias de defectos pueden ser detectados e identificados utilizando un sistema cámara-computador por lo que se puede concluir que técnicamente es factible el desarrollo de un sistema automático de detección de defectos.

Existe un amplio campo de aplicaciones, útiles en el área forestal que pueden ser abordados utilizando procesamiento de imágenes, y a un bajo costo, de las cuales se podrían destacar:

- Determinación, en forma rápida y eficiente, de los volúmenes de madera pulpable que ingresan en camiones a las canchas de acopio y/o plantas de celulosa.
- Análisis de la cobertura del suelo. Por cobertura del suelo se entiende el tipo de ocupación existente sobre él, ya sean especies forestales u otro tipo de vegetación natural.

La estrategia propuesta demostró ser plenamente aplicable y se piensa que puede ser ampliamente mejorada aprovechando las técnicas de procesamiento paralelo, principalmente en la solución de las tareas de análisis de imágenes y el cálculo de una óptima estrategia de corte, etapas que demandan más tiempo de CPU.

Al proyectar los resultados de rendimiento al producto libre de defectos, no cabe duda que el aporte de esta nueva tecnología es indiscutible. Esto resulta importante si se considera que en Chile toda la madera seca que se comercializa a mercados como Europa, Asia y Estados Unidos es madera sin defectos sometidas a un proceso de unión encolada del tipo *finger-joint*. De allí que el aprovechamiento de la materia prima constituye un factor de vital importancia, siendo uno de los principales objetivos hacia donde apunta la introducción de esta tecnología.

## 5. Bibliografía

- [CAN96a] Canales, E., Hoffmann, H., Rodríguez, C.  
"Procesamiento Digital de Imágenes Aplicado a la Detección de Defectos en la Madera Elaborada de *Pinus Radiata*"; IV Encuentro Chile de Computación; Valdivia, Noviembre de 1996.
- [CAN96b] Canales, E., Hoffmann, H., Rodríguez, C.  
"Procesamiento Digital de Imágenes Aplicado al Análisis Fustal"; Encuentro Internacional de Aplicaciones en Informática INFONOR '96; Antofagasta, Noviembre de 1996.
- [CHI82] Chin, R. T., Harlow, C. A.  
"Automated Visual Inspection: A Survey"; IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-4, No. 6, pp. 557-573, November 1982.
- [GON74] González, R., Tou, J.  
"Pattern Recognition Principles", Addison-Wesley Publishing Company, Nueva York, 1974.
- [HEA95] Hearn, D., Baker, M.P.

"Gráficas por Computadora", 2da Ed., Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México, 1995

- [HIX80] Hixson, M., Scholz, D., Fuhs, N. y Akiyama, T.  
"Evaluation of several schemes for classification of remotely sensed data";  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, pp. 1547-1553,  
1980.
- [NCH95a] NCh 992.EOF72  
"Madera - Defectos a Considerar en la Clasificación, Terminología y Méto-  
dos de Medición", 1995.
- [NCH95b] NCh 993.EOF72  
"Madera - Procedimiento y Criterios de Evaluación para Clasificación",  
1995.
- [NCH79] NCh 178 OF79  
"Madera aserrada de pino insigne - Clasificación por aspecto", 1979.
- [OSS94] Ossandón, M.  
"Ficha Forestal - Trozos aserrables", Revista Lignum, No. 16, pp. 25-26,  
Septiembre 1994.
- [WAN90] Wang, L.  
"A New Statistical Approach for Texture Analysis", Photogrammetric En-  
gineering and Remote Sensing, Vol. 56, No. 1, pp. 61-66, 1990.
- [WES76] Weszka, J., Dyer C., Rosenfeld, A.  
"A Comparative Study Of Texture Measures For Terrain Classification".  
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. Smc-6, No. 4,  
April 1976, pp. 269-285.