

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica

Tesis

**Clasificación de especies maderables mediante un  
modelo de redes neuronales convolucionales utilizando  
imágenes macroscópicas de la selva central - Perú**

Thonny Behyker Centeno Utos

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecatrónico

Huancayo, 2021

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	vi
Índice de figuras .....	vii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>15</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	15
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1. Formulación del problema general.....	17
1.2.2. Formulación de problemas específicos.....	17
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. Objetivos generales .....	18
1.3.2. Objetivos específicos .....	18
1.4. Justificación e importancia .....	18
1.4.1. Justificación teórica.....	18
1.4.2. Justificación práctica .....	19
1.4.3. Justificación metodológica .....	19
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>20</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	20
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	20
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	23
2.2. Bases teóricas .....	27
2.2.1. Extracción de características de textura tradicionales .....	27
2.2.2. Extracción de características físicas .....	31
2.2.3. Clasificación de características tradicionales.....	34
2.2.4. Clasificación automática utilizando CNN.....	40

2.2.5. Características macroscópicas de la madera en la sección transversal.....	47
2.3. Definición de términos básicos .....	50
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>53</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>53</b>
3.1. Método general .....	53
3.2. Método específico.....	54
3.3. Tipo de investigación .....	54
3.4. Nivel de investigación .....	54
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>55</b>
<b>ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....</b>	<b>55</b>
4.1. Creación de base de datos de imágenes macroscópicas de madera de la selva central del Perú .....	55
4.1.1. Recolección de muestras de madera de la selva central .....	55
4.1.2. Adquisición de imágenes macroscópicas de las especies madereras .....	59
4.1.3. Análisis de las imágenes macroscópicas de las especies maderables .....	62
4.2. Selección del modelo de red neuronal convolucional más apropiado para clasificar especies maderables .....	64
4.3. Entrenar el modelo CNN previamente seleccionado .....	65
4.4. Análisis de los resultados.....	71
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>76</b>
<b>ASPECTOS ADMINISTRATIVOS .....</b>	<b>76</b>
5.1. Presupuesto y cronograma .....	76
Conclusiones.....	80
Recomendaciones.....	81
Lista de referencias .....	82
Anexos .....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo de los clasificadores y extractores de características .....	39
Tabla 2. Encarnación de GoogleNet de la arquitectura Inception .....	44
Tabla 3. identificación de las 10 especies maderables .....	61
Tabla 4. Cuadro comparativo de los modelos CNN .....	65
Tabla 5. Red de línea base de EfficientNet B0.....	65
Tabla 6. Número de especie otorgado por el modelo EfficientNet B0 .....	67
Tabla 7. Parámetros de la matriz de confusión con número de épocas variados .....	69
Tabla 8. Matriz de confusión con el número de épocas igual a 40.....	71
Tabla 9. Presupuesto .....	77
Tabla 10. Cronograma .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Búsqueda de etiquetas binarias de ocho pixeles vecinos circulares..	28
Figura 2. Hoja de contorno cerrada.....	32
Figura 3. Hoja de contorno lobulada. ....	33
Figura 4. Ejemplo de la aplicación de K-NN básico.....	36
Figura 5. La arquitectura de un perceptrón multicapa. ....	38
Figura 6. Arquitectura AlexNet. ....	41
Figura 7. Módulo de Inception con dimensión reducida. ....	43
Figura 8. Arquitectura del modelo ResNet.....	45
Figura 9. Esquema de un bloque residual. ....	46
Figura 10. Modelo de arquitectura de Vgg-19. ....	47
Figura 11. Radio en el tronco de una especie maderable. ....	48
Figura 12. Tipos de parénquima apotraqueal.....	49
Figura 13. Anillos de crecimiento visibles en tronco de madera (A), madera tardía y temprana (B).....	50
Figura 14. Vistas de los tres cortes de madera. ....	51
Figura 15. Barreno de Pressler (a), motobarreno (b) ....	56
Figura 16. Regletas de madera (a), portaplanos (b).....	57
Figura 17. Cicatrizante para madera (a), tarugos de madera (b), aplicar el cicatrizante alrededor del agujero (c), tapado del agujero del árbol (d) .....	57
Figura 18. Corte de rodaja (a), traslado de la rodaja (b), almacenamiento de muestras (c), cargar rodajas al camión (d) .....	59
Figura 19. Toma de fotografías macroscópicas (a), microscopio portátil (b), conector tipo C a adaptador USB hembra (c), estilete (d) .....	60
Figura 20. Extracción del cubo de la rodaja de madera (a), cubos de 5 cm (b), corte de la superficie transversal de la madera (c), toma de fotografías con el microscopio (d).....	61
Figura 21. Cedro (A), congona (B), cumala (C), lanchan (D), moena negra (E), moena rosada (F), pochotaroque (G), sapote (H), yacushapana (I), yarahuisca (J).....	62
Figura 22. Diagrama de flujo del entrenamiento del modelo .....	66

Figura 23. Archivos dentro de la carpeta seleccionada.....	67
Figura 24. Imágenes sin aumento de datos .....	68
Figura 25. Imágenes con aumento de datos .....	68
Figura 26. Tiempo de ejecución con el número de época modificado.....	70
Figura 27. Parámetros de la matriz de confusión .....	70
Figura 28. Lanchan (a), sapote (b) y pochotaroque (c) .....	72
Figura 29. Pochotaroque (a), moena rosada (b) y moena negra (c) .....	73
Figura 30. Moena rosada (a) y yacushapana (b).....	74
Figura 31. Forma de salida y el número de parámetros del modelo entrenado	74

## RESUMEN

La identificación correcta de las especies maderables es una tarea compleja para las industrias, organismos e instituciones encargados en hacer cumplir la ley de comercio formal, transparente o legal. Usualmente, la tarea de clasificación de madera la realizan los anatomistas que se encargan de describir las características macroscópicas y microscópicas presentes en los cortes de la madera que, generalmente, llegan solo a nivel de género. Para disminuir la tala ilegal y contribuir con un nuevo sistema de reconocimiento de especies maderables, utilizando redes neuronales convoluciones, se plantea el presente estudio de clasificación de 10 especies maderables en la Selva Central con un modelo preentrenado llamado *EfficientNet B0*, tomando como entrada imágenes macroscópicas obtenidas con el microscopio portátil *dino lite* y el software *MScopes for USB Camera* instalada en el celular. Con una base de datos de 2033 imágenes macroscópicas se obtuvo una eficiencia del 94.8% en la clasificación de especies de madera.

**Palabras claves:** especies maderables, imágenes macroscópicas, modelo de clasificación, redes neuronales convolucionales, selva central del Perú

## ABSTRACT

Correct identification of timber species is a complex task for industries, agencies, and institutions in charge of enforcing formal, transparent or legal trade law. Usually, the wood classification task is carried out by anatomists who oversee describing the macroscopic and microscopic characteristics present in the wood cuts that generally only reach the level of gender. To reduce illegal logging and contribute to a new system for the recognition of timber species using convolutional neural networks, the present study of classification of 10 timber species in the Central Forest is proposed with a pre-trained model called EfficientNet B0 taking macroscopic images as input. obtained with the dino lite portable microscope and the MScopes for USB Camera software installed on the cell phone. With a database of 2,033 macroscopic images, an efficiency of 94.8% was obtained in the classification of wood species.

**Keywords:** central jungle of Peru, classification model, convolutional neural networks, macroscopic images, timber species