



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“APLICACIÓN MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y
CLASIFICACIÓN DE ÁRBOLES URBANOS COMUNES
NATIVOS E INTRODUCIDOS DE LOS RÍOS Y PARQUES DE
CUENCA”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

CUENCA MORENO OSCAR PATRICIO

VANEGAS CADENA SANTIAGO ANDRÉS

Director:

Ing. FRANCISCO SALGADO

CUENCA - ECUADOR

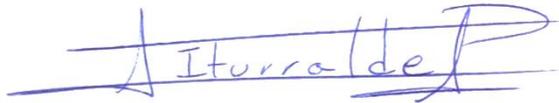
2022

RESUMEN

APLICACIÓN MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ÁRBOLES URBANOS COMUNES NATIVOS E INTRODUCIDOS DE LOS RÍOS Y PARQUES DE CUENCA

El presente trabajo de titulación propone la implementación de una aplicación móvil de reconocimiento de hojas de árboles comunes, nativos e introducidos en las orillas y parques de la zona urbana de Cuenca, para poder detectar y clasificar las diferentes especies, géneros y familias, en un aporte conjunto con la Escuela de Biología de la Universidad del Azuay para la validación de información. Dicha aplicación hace uso de visión artificial para capturar fotos e ingresarlas a una red de aprendizaje profundo entrenada con la base de datos previamente cargada, guardando la ubicación donde la muestra fue tomada. De esta manera, se puede obtener información en tiempo real de las diferentes especies de árboles urbanos.

Palabras clave: Transfer learning, inteligencia artificial, clasificación, reconocimiento.



Ing. Daniel Iturralde Piedra Ph.D.
Director de Escuela



Ing. Francisco Salgado.
Director de Tesis



Cuenca Moreno Oscar Patricio
Autor



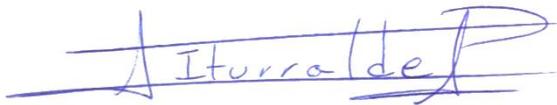
Vanegas Cadena Santiago Andrés
Autor

ABSTRACT

MOBILE APPLICATION FOR THE DETECTION AND CLASSIFICATION OF COMMON URBAN NATIVE AND INTRODUCED NATIVE AND INTRODUCED TREES IN RIVERS AND WATERSHED PARKS.

This degree work proposed the implementation of a mobile application for the recognition of leaves of common, native and introduced trees in the banks and parks of the urban area of Cuenca, in order to detect and classify the different species, genera and families, in a joint contribution with the School of Biology of the University of Azuay for the validation of information. This application uses artificial vision to capture photos and enter them into a deep learning network trained with the previously loaded database, saving the location where the sample was taken. In this way, real-time information on the different species of urban trees can be obtained.

Keywords: Transfer learning, artificial intelligence, classification, recognition.



Ing. Daniel Iturralde Piedra Ph.D.
School Principal



Ing. Francisco Salgado.
Thesis Director



Cuenca Moreno Oscar Patricio
Author

Translated by:



Cuenca Moreno Oscar Patricio



Vanegas Cadena Santiago Andrés
Author



APLICACIÓN MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ÁRBOLES URBANOS COMUNES NATIVOS E INTRODUCIDOS DE LOS RÍOS Y PARQUES DE CUENCA

Cuenca Moreno Oscar Patricio
Escuela de Ingeniería Electrónica
Universidad Del Azuay
Cuenca, Ecuador
oscarcuenca@es.uazuay.edu.ec

Vanegas Cadena Santiago Andrés
Escuela de Ingeniería Electrónica
Universidad Del Azuay
Cuenca, Ecuador
santysv06@es.uazuay.edu.ec

Resumen— El presente trabajo de titulación propone la implementación de una aplicación móvil de reconocimiento de hojas de árboles comunes, nativos e introducidos en las orillas y parques de la zona urbana de Cuenca, para poder detectar y clasificar las diferentes especies, géneros y familias, en un aporte conjunto con la Escuela de Biología de la Universidad del Azuay para la validación de información. Dicha aplicación hace uso de visión artificial para capturar fotos e ingresarlas a una red de aprendizaje profundo entrenada con la base de datos previamente cargada, guardando la ubicación donde la muestra fue tomada. De esta manera, se puede obtener información en tiempo real de las diferentes especies de árboles urbanos.

Palabras clave: Transfer learning, inteligencia artificial, clasificación, reconocimiento.

I. INTRODUCCIÓN

La *inteligencia artificial* (IA) cada vez es más importante en todos los entornos de nuestra vida diaria, transporte, salud, manufactura, internet de las cosas así también como es el estudio de nuestra flora, gracias a la inteligencia artificial y al aprendizaje de máquinas podemos simplificar muchos procesos, optimizando su efectividad y tiempo, dentro del desarrollo del presente trabajo de titulación realizamos la *clasificación y reconocimiento* de diferentes fotografías de las *hojas* de diez especies de árboles nativos e introducidos en nuestra ciudad [1].

La tecnología avanza diariamente, debido a que ofrece una percepción diferente, facilita y contribuye a solventar numerosos tipos de problemas que mediante el apoyo de la *inteligencia artificial* se tiene la facilidad de solucionarlos [1], lo cual motiva a incursionar en proyectos relacionados en la IA que ayuden y aporten a la sociedad. Cuenca es una ciudad de las montañas andinas del Ecuador, considerada y reconocida como *Patrimonio Cultural de la Humanidad*, admirada no simplemente por la actividad cultural persistente en la variedad de sus actividades artesanales, lugares turísticos a manera de miradores en donde se puede observar todo el esplendor de la ciudad, gastronomía tradicional que resalta en cada uno de sus platos típicos; sino también por la diversidad de fauna y especialmente de la *flora existente*, en donde se destacan las diversas especies nativas e introducidas de árboles en Cuenca [2]; la cual se puede observar en las montañas, orillas de ríos, parques, jardines, entre otros, así también debemos tener en cuenta que “los árboles urbanos hacen más que funciones decorativas; son seres vivos capaces de mejorar la calidad de ambiente, pero para lograrlo necesitan de nuestro entendimiento y cuidado” [3].

“El arbolado de la ciudad puede mejorar el ambiente, la

sensación térmica y ser el hogar para muchas especies. Pero, la vida de los árboles en la ciudad puede ser muy estresante, ya que se enfrentan a temperaturas elevadas y una baja humedad del suelo por efecto de la pavimentación” [3]. Por otro lado, al desarrollar este aplicativo móvil se aporta de forma directa al estudio, análisis y crecimiento de la base de datos tanto de este grupo de investigación como el de la Escuela de Biología de la Universidad del Azuay.

A. ESTADO DEL ARTE

En base a la investigación científica realizada por Cofre Chango Miguel Ángel [4] en la Universidad Técnica de Cotopaxi-Carrera de Ingeniería en Informática y Sistemas Computacionales presentan como objetivo el **desarrollo de una aplicación móvil y web de las plantas nativas**, tomando como sitio de estudio la Flora de la ciudad de Latacunga y la Microempresa “Agrocotopaxi” [4].

La aplicación **Flora Incógnita** cuenta con la identificación interactiva de especies de plantas. Los usuarios se benefician de una interfaz intuitiva, estos aplicativos móviles se convierten en educativos complementarios. Las imágenes captadas en combinación con sus metadatos generan información para investigar, monitorear y comprender la diversidad de plantas. La existencia de este tipo de aplicaciones móviles como Flora Incógnita estimulan la interacción exitosa de la ciencia ciudadana, la conservación y la educación [5].

Pl@ntNet es una herramienta para ayudar a identificar plantas mediante imágenes. Está organizada en diferentes categorías por tipo y también ubicación geográfica. En esta aplicación se debe elegir primero el que corresponda a su región o área de interés de la lista que esta misma aplicación nos presenta. Permite hacer una búsqueda "Flora mundial", que tiene la cobertura más amplia, pero brinda resultados menos precisos que una flora más enfocada [6].

iNaturalist, es una aplicación considerada una red social para amantes de la naturaleza que les interese aprender e interactuar con otros naturalistas. Esta aplicación intenta conectar a la gente con la naturaleza, funciona mediante la descarga del aplicativo, generación de un perfil de usuario, para tomar diferentes muestras de individuos en flora y fauna, los cuales, si el usuario tiene conocimiento e información de esa especie, puede compartir con la red y dicha información será validada por la aplicación. Al momento iNaturalist cuenta con el apoyo de la Academia de Ciencias de California y la National Geographic Society (EEUU), además de su amplia red de datos que crece gracias a sus 12.544 observadores alrededor del mundo [7].

Floramo, es un proyecto que inició en el año 2000 en el parque nacional Cajas en Cuenca, este proyecto investigativo incluye una aplicación móvil que sirve de enciclopedia con 250 especies existentes en los páramos del Cajas y los alrededores de Quito, teniendo información básica, nombres, colores, tipos y géneros, de esta forma se puede ampliar el estudio de la flora existente [8].

Arbolapp, es una aplicación creada por el Real Jardín Botánico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y ofrece 143 especies descritas en 122 fichas con información, esta aplicación es otro catálogo donde se puede obtener referencias de las observaciones que se realizan. Esta aplicación no cuenta con reconocimiento mediante fotografías, además de poseer información de Europa de los árboles más frecuentemente asilvestrados en Andorra, Portugal continental, España peninsular y las Islas Baleares [9].

LeafSnap, es una aplicación creada en la Universidad de Columbia y está disponible de forma gratuita. Esta aplicación utiliza un método de reconocimiento por medio de las hojas de los árboles, se puede introducir una foto tomada al instante o fotografías previamente tomadas, al introducir una muestra el sistema, utilizando inteligencia artificial y asegurando un 95% de efectividad, devuelve la información de la especie. Actualmente, están incluidas en la aplicación las especies propias del noreste de EE. UU y Canadá [10].

NatureID, esta aplicación se utiliza como una red social de identificación de plantas, sus enfermedades y toda esta información es validada por profesionales los cuales dan soporte a las diferentes preguntas de los usuarios, también tienen la posibilidad de generar un jardín de usuario donde se puede grabar las plantas en el domicilio y generar un calendario con recordatorio de horas de riego [11].

PlantSnap, es una aplicación que cuenta con identificación de plantas al instante mediante fotografías y una comparación de su amplia base de datos con información de varias especies alrededor del mundo. Las fotografías que se ingresan mediante la cámara son rápidamente identificadas y devuelven varias opciones para visualizar la que más se asemeje a la muestra [9].

En todos estos casos presentados a través de aplicaciones web y móviles, podemos encontrar catálogos con gran variedad de especies de fauna comunes. Sin embargo, nuestra ciudad dispone de variedades de especies nativas y endémicas, por lo que la implementación de este aplicativo a nivel regional, permitirá el interés de los turistas en conocer ciertos tipos de árboles, fomentará una cultura de conservación del entorno y sobre todo ayuda en la formación educativa de los estudiantes de la Escuela de Biología de la Universidad Del Azuay a través de su Herbario.

La información actual que disponen los estudiantes referentes a los árboles urbanos de la ciudad de Cuenca hace referencia únicamente a datos por separados permitiendo de esta forma que el aplicativo integre toda esta información y sea capaz de aprender, reconocer y entregar resultados que son guardados en bases de datos.

II. MARCO TEORICO

Inteligencia Artificial

Con este nombre, hacemos referencia al comportamiento simulado de una persona, intentando mediante un robot imitar la inteligencia humana, para poder obtener similitud se ejecuta una combinación de algoritmos previamente diseñados [12].

Visión Artificial

Es un campo de la inteligencia artificial, que mediante el desarrollo de técnicas apropiadas podemos obtener, cualquier tipo de información espacial obtenida a través de imágenes digitales para posteriormente poder procesarlas y analizarlas [13].

Redes neuronales artificiales (RNAs)

Son un modelo simplificado para efectuar una similitud del comportamiento de nuestro cerebro, mediante redes neuronales biológicas para extraer información y experiencia [14].

Redes neuronales convolucionales (CNN)

Se asemejan a las redes neuronales artificiales, es una variación de un perceptrón multicapa, su funcionamiento toma jerarquía en visión artificial debido al trabajo con matrices bidimensionales [15].

Machine Learning

Conocido como aprendizaje automático, es un subcampo de la inteligencia artificial donde la red es entrenada por sí sola. Por ejemplo, para la recomendación de películas en YouTube, un algoritmo interno toma como referencia nuestros videos últimamente visualizados y nos recomienda otros muy similares [16].

Aprendizaje Supervisado

Denominada de esta manera al algoritmo el cual, para su funcionamiento, debemos ingresar la solución, para que de ahí tome como punto de partida, para el entrenamiento de la red [16].

Aprendizaje no Supervisado

A diferencia del aprendizaje supervisado, los datos para el entrenamiento de la red no incluyen las soluciones, y el algoritmo intentará clasificar o descifrar la información por sí solo [16].

Aprendizaje Reforzado

Se emplea información sobre el error cometido, pero en este caso existe una única señal de error, que representa un índice global del rendimiento de la red (solamente le indicamos lo bien o lo mal que está actuando). Como en el caso del no supervisado, no se suministra explícitamente la salida deseada; se puede considerar como una herramienta matemática proveniente del Aprendizaje de Máquinas, que permite modelar el proceso de aprendizaje mediante una sucesión de interacciones entre un agente de aprendizaje y su entorno [17].

Árboles de decisión

Ya Es una representación gráfica de posibles soluciones a

una decisión basadas en varias condiciones a cumplir, este algoritmo es uno de los más utilizados en Machine Learning con el cual podemos entrenar a nuestra red [16].

Tensor Flow

Es una librería de código abierto, nos permite trabajar con grandes cantidades de información, esta librería nos permite entrenar redes neuronales, pudiendo de esta manera detectar o reconocer patrones [18].

Google Colaboratory

Es una herramienta que nos brinda Google, con la cual podemos trabajar con machine learning, esta herramienta nos permite utilizar una GPU que nos otorga mayor velocidad en el entrenamiento de una red previamente diseñada [19].

Matrices De Confusión

Las matrices de confusión o matrices de error son comúnmente usadas para informar sobre la exactitud temática de productos derivados de la clasificación de datos procedentes de imágenes, el conjunto de matrices de confusión se trata de una matriz cuadrada (MxM), esto nos da gran cantidad de datos que se utiliza para procesar las semejanzas entre las muestras tomadas, con esto podremos tener un resultado y las preferencias de exactitud para cada categoría así también se puede establecer la mala clasificación entre distintas categorías [20].

Transfer learning

La transferencia de conocimiento es algo que los humanos utilizamos a diario de forma instintiva, por ejemplo, cuando aprendemos a manejar un vehículo liviano, despues dicha información aprendida la utilizamos para manejar un Camión y así será más fácil aprender a manejar camión, de la misma forma si queremos aprender a manejar Autobús, necesitamos diferenciar aprendizaje positivo y negativo del camión y de la misma manera del vehículo liviano, para que manejar Autobús sea mucho más fácil, rápido y eficiente. Ahora ya podremos identificar en qué situaciones no se debe transferir conocimiento. “En el peor de los casos, puede incluso perjudicar el rendimiento del aprendizaje en el dominio de destino, una situación que a menudo se denomina transferencia negativa. Por lo tanto, el objetivo de "Cuándo transferir" es evitar la transferencia negativa y luego asegurar la transferencia positiva” [21].

Inception Resnet V2

Son modelos existentes con pesos previamente entrenados, estos modelos se pueden utilizar para la predicción, la extracción de características y el ajuste fino. En este caso hemos escogido el modelo de la tabla 1

Inception Resnet V2 [22].

TABLA 1. MODELO USADO “APLICACIONES KERAS”. [22]

Modelo	Tamaño (MB)	Precisión Top-1	Precisión de los 5 mejores	Parámetros	Profundidad	Tiempo (ms) por paso de inferencia (CPU)	Tiempo (ms) por paso de inferencia (GPU)
InceptionResNetV2	215	80,3%	95,3%	55,9 millones	449	130.2	10.0

Resumen Morfológico

TABLA 2. DIVISIÓN DE HOJAS [23]

División de las Hojas	
	Compuesta
	Pinnada
	Trifoliada
	Simple
	Bipinnada
	Palmada

TABLA 3. DISPOSICIÓN DE LAS HOJAS EN LAS RAMAS [23]

Disposición de las hojas en las ramas
 <p>Opuesta</p>
 <p>Alternas</p>

TABLA 4 .DETALLE DE LAS HOJAS [23]

Detalle de las hojas
 <p>Lámina</p> <p>Raquis</p> <p>Pecíolo</p>

TABLA 5. DETALLE DE LA LÁMINA [23]

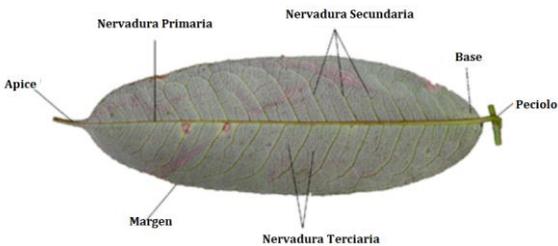
Detalle de la lámina
 <p>Nervadura Primaria</p> <p>Nervadura Secundaria</p> <p>Nervadura Terciaria</p> <p>Apice</p> <p>Base</p> <p>Margen</p> <p>Pecíolo</p>

TABLA 6. FORMAS DE LA LÁMINA [23]

Formas de la lámina	
 <p>Elíptica</p>	 <p>Espatulada</p>
 <p>Oblanceolada</p>	 <p>Lanceolada</p>
 <p>Lobada</p>	 <p>Palmada</p>
 <p>Oblonga</p>	 <p>Obovada</p>
 <p>Ovada</p>	

TABLA 7. ÁPICE DE LA LÁMINA [23]

Ápice de la lámina		
 <p>Caudado</p>	 <p>Agudo</p>	 <p>Acuminado</p>
 <p>Retuso</p>	 <p>Redondeado</p>	 <p>Obtuso</p>

TABLA 8. BASES DE LA LÁMINA [23]

Bases de la lámina		
 Auriculada	 Atenuada	 Aguda
 Redondeada	 Truncada	 Obtusa
 Cuneada	 Decurrente	 Oblicua
 Subcordada		 Cordada

TABLA 9. BORDES DE LA LÁMINA

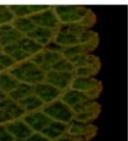
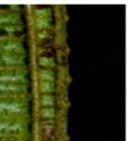
Bordes de la lámina		
 Crenado	 Dentado	 Cillado
 Revoluto	 Ondulado	 Fimbriado
 Con glándulas	 Serrado	 Denticulado
 Serrulado		

TABLA 10. TIPOS DE NERVADURA [23]

Tipos de Nervadura	
 Broquidódroma	 Bronquidódroma detalle
 Craspedódroma	 Craspedódroma detalle
 Plinervada	 Palmada
 Nervadura secundaria prominente en el envés	 Nervadura secundaria hendida en el haz
 Nervadura terciaria escaliforme	 Nervadura terciaria reticulada

III. METODOLOGIA

El objetivo principal de este trabajo es implementar una aplicación móvil para la detección y reconocimiento de árboles urbanos, nativos e introducidos, situados en las orillas de los ríos y parques, aplicando visión artificial y Deep Learning. La metodología aplicada en este proceso se basa en realizar un estudio de información bibliográfica, en la cual se sintetiza toda información de interés sobre proyectos desarrollados o similares en los cuales se aplique un desarrollo algorítmico programable con una alta probabilidad de acierto, apoyándonos en proyectos nacionales o internacionales. Considerando los datos obtenidos de los rasgos característicos de las diferentes familias de árboles existentes en la región, se desarrolló un script que permite manipular y procesar ciertos patrones obtenidos mediante fotografías, por lo cual se aplicó la metodología proyectiva, con la finalidad de obtener un algoritmo funcional.

Una vez concluido con los patrones fotográficos de los árboles en estudio, se procedió a aplicar la metodología evaluativa, cuyo objetivo es realizar el entrenamiento de nuestra red neuronal mediante un proceso de prueba y error, en el cual se pudo obtener un resultado más eficiente con alta probabilidad de acierto.

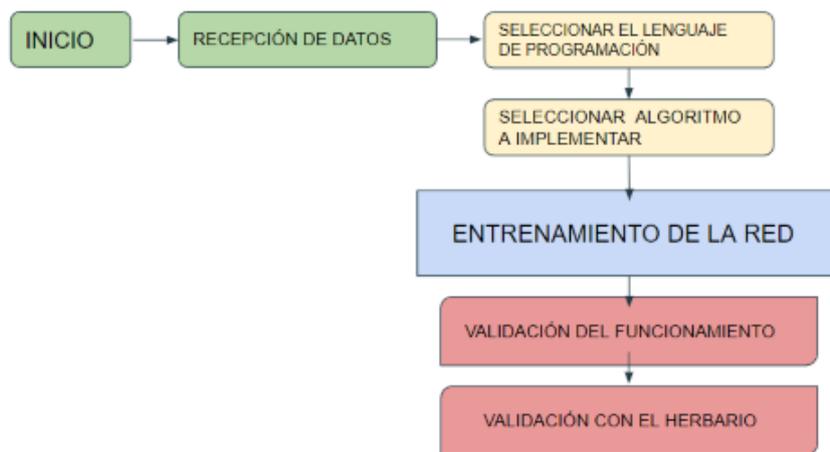


Diagrama 1. Metodología aplicada

Clasificación y selección de especies.

Uno de los Primeros pasos esenciales para la realización de esta aplicación, fue la colaboración del Herbario de la Universidad del Azuay, los cuales facilitaron un listado con más de 30 familias y especies de árboles, nativos e introducidos. En primera etapa se inició con 4 especies de árboles, con capacitación para poder reconocer las diferentes especies por parte del personal del Herbario, en una segunda etapa se introdujeron 3 especies más, con la finalidad de ir probando el modelo desarrollado y su efectividad, en la parte de pruebas finales se definió trabajar con la presente tabla de 10 especies, entre las cuales sobresalen las Nativas.

TABLA 11. CATEGORÍAS PARA REALIZAR APP

Familia	Especie	Nombre Común	Origen
Bignoniaceae	<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	Guaylo	Nativa
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacaranda	Introducida
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Fresno o cholán	Nativa
Fabaceae	<i>Acacia dealbata</i> Link	Acacia	Introducida
Juglandaceae	<i>Juglans neotropica</i> Diels	Nogal	Nativa
Meliaceae	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	Cedro	Nativa
Myrtaceae	<i>Callistemon lanceolatus</i> (Sm.) Sweet	Cepillo	Introducida
Myrtaceae	<i>Myrcianthes hallii</i> (O. Berg) McVaugh	Arrayán	Nativa
Podocarpaceae	<i>Podocarpus sprucei</i> Parl.	Guabisay	Nativa
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Níspero	Introducida

Ubicación en los parques y orillas de los ríos de Cuenca.

En esta etapa se realizaron las muestras de las diferentes especies definidas conjuntamente con el Herbario (Fig. 1), las pruebas fueron tomadas en campo, se realizó un reconocimiento de las especies existentes dentro y en los alrededores de la Universidad del Azuay. Después se realizó una inspección de las especies en los diferentes parque y orillas de la Ciudad de Cuenca.



Figura 1. Reconocimiento en campo

Delostoma integrifolium D. Don

Familia: Bignoniaceae

Nombres comunes: Guaylo, Yalomán

Nativa

Origen y distribución geográfica: Desde Venezuela hasta Perú. En el Ecuador crece preferentemente en la región interandina desde 1000 hasta los 3500 m s.n.m [24].

TABLA 12. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	Nº de individuos
Artemisa	5
Belén	1
Calderón	4
De la Platería	2
Del Arte	1
Del Playón	2
El Tejar	2
Fray Jodoco	3
Granadinos	3

Hércules	10
Huagrahuma	8
Juan Stiehle	8
Juventino Vélez Ontaneda	2
La Gorgona	14
La Isla	2
La Madre	1
La Unión	10
Los Alpes	15
Los Andes	2
Los Traviesos	4
Paraíso A	10
Paraíso IV	3
Parque del Redondel del IESS	1
San Blas	1
San Sebastián	2
Orillas del Tomebamba	13
Universidad del Azuay CCTT	5
Orillas del Yanuncay	55

***Jacaranda mimosifolia* D. Don**

Familia: Bignoniaceae

Nombre común: Jacaranda

Introducida

Origen: Originario de Sudamérica. En su estado natural se distribuye en Brasil, Bolivia, Paraguay y Noreste de Argentina [26].

TABLA 13. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	N° de Individuos
Baroja	1
Belén	5
Bilbao	2
Buena Esperanza	2
Calderon	1
Ciudadela Álvarez	11
Corazón de María	4
De la Cdla. de los Ingenieros	18
De la Espera	6
De la Platería	6
Del Arte	2
Del Escritor	2
Del Playón	5
Duchicelas	10
El Ángel	22
El Científico	4
El Vergel	6
Ferrovial	1
Fray Jodoco	2
Granadinos	9
Guatana	18

Huagrahuma	7
Iberia	11
Inclusivo (Circo Social)	5
Interandino	8
Juan Stiehle	2
Juventino Vélez Ontaneda	1
La Compañía	14
La Libertad	5
La Madre	32
La Paz	6
La Prensa	7
La Unión	7
Las Candelas	3
Los Andes	5
Los Arupos	3
Los Héroes	1
Los Libertadores	6
Luis Cordero	2
María Auxiliadora	3
Paquisha	2
Paraíso A	95
Paraíso B	14
Perezpata	1
San Blas	3
San Marcos	2
San Roque	3
San Sebastián	3
Orillas del Tomebamba	36
Universidad del Azuay	32
Universidad del Azuay CCTT	42
Vicente Mideros	8
Virgen del Milagro	5
Vizorey	2
Orillas del Yanuncay	186

***Tecoma stans* (L.) Juss. Ex Kunth**

Familia: Bignoniaceae

Nombres comunes: Fresno, Cholán

Nativa

Origen y distribución geográfica: originaria del continente americano. Se distribuye desde Estados Unidos hasta Argentina. En el Ecuador es cultivada ampliamente en las provincias de Azuay, Bolívar, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua; entre los 500 hasta los 3000 m s.n.m [27].

TABLA 14. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	Nº de individuos
Abraham Lincoln	1
Américas	1
Belén	2
Bilbao	8
Buena Esperanza	6
Calderon	15
Carlos Cueva Tamariz	23
Ciudadela Álvarez	2
Corazón de María	1
Curiquingue	3
De la Cdla. Católica	3
De la Platería	8
De los Cipres	2
Del Arte	1
Del Playón	18
Duchicelas	2
El Ángel	16
El Caribe	3
El Cebollar III	2
El Científico	12
El Molinero	1
El Recreo	7
El Rosario	15
El Seminario	5
El Tejar	25
El Vergel	1
Ferroviaria	14
Granadinos	4
Guatana	18
Huagrahuma	24
Iberia	5
Iguazu	6
Inclusivo (Circo Social)	1
Interandino	12
Juan Stiehle	7
Júpiter	7
Juventino Vélez Ontaneda	11
La Alameda	4
La Floresta II	6
La Fogata	1
La Gorgona	5
La Huaira	3
La Libertad	29
La Madre	28
La Paz	10
La Prensa	3
La Recoleta	7
La República	17
La Unión	39
Las Peñas	1

Latinoamericano	4
Los Andes	4
Los Arupos	7
Los Gitanos	1
Los Héroes	2
Los Libertadores	1
Los Traviosos	10
Luis Cordero	15
Mary Corylé	2
Paraíso A	70
Paraíso B	20
Paraíso II	2
Paraíso IV	1
Parque del Árbol de Navidad	26
Perezpata	2
San Blas	5
San Marcos	3
San Roque	3
San Sebastián	11
Santa Anita	3
Orillas del Tomebamba	30
Universidad del Azuay	23
Universidad del Azuay CCTT	5
Urano	9
Virgen del Milagro	3
Vizorey	16
Orillas del Yanuncay	211

***Acacia dealbata* Link**

Familia: Fabaceae

Nombres comunes: Acacia, Acacia francesa, Mimosa

Introducida

Origen: originaria del sur de Australia y Tasmania [28].

TABLA 15. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	Nº de individuos
Abraham Lincoln	5
Belén	1
Bilbao	3
Ciudadela Álvarez	3
Curiquingue	7
De la Cdla. Católica	3
De la Cdla. de los Ingenieros	1
De las Pencas I	4
El Ángel	3
El Edén	1
El Molinero	3
El Vergel	7
Ferroviaria	11
Granadinos	8

Huagrahuma	30
Iberia	4
Interandino	5
Juventino Vélez Ontaneda	1
La Compañía	1
La Libertad	34
La Madre	8
La Paz	1
La Policía	1
La Prensa	9
La República	1
La Unión	2
Latinoamericano	2
Los Andes	13
Los Gitanos	2
Los Traviesos	1
María Auxiliadora	1
Mary Corylé	5
Napo	2
Paquisha	1
Paraíso A	50
Paraíso B	2
Parque del Árbol de Navidad	2
Perezpata	3
Quetzal	1
San Marcos	4
San Roque	4
San Sebastián	1
Santa Anita	1
Tomebamba tramo 3	12
Universidad del Azuay	3
Universidad del Azuay CCTT	53
Vizorey	1
Orillas del Yanuncay	123

***Juglans neotropica* Diels**

Familia: Juglandaceae

Otro nombre común: Nogal, Tocte

Nativa

Origen y distribución geográfica: Originaria de bosques montanos y piemontanos de Sudamérica, desde Venezuela hasta Perú. En Ecuador se encuentra presente desde los 0 hasta los 3500 m s.n.m. en las provincias de Azuay, Bolívar, Chimborazo, Galápagos, Loja, Napo, Pichincha y Tungurahua [29].

TABLA 16. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	N° de individuos
Ciudadela Álvarez	1

De la Cdla. Católica	1
De la Cdla. de los Ingenieros	1
Del Playón	4
Duchicelas	2
El Cebollar III	10
El Recreo	5
Huagrahuma	6
Juan Stiehle	4
La Huaira	2
La Isla	1
La Madre	1
La Prensa	1
Latinoamericano	1
Los Traviesos	1
Paraíso A	18
Parque del Árbol de Navidad	2
Orillas del Tomebamba	29
Universidad del Azuay CCTT	1
Valladolid	1
Orillas del Yanuncay	115

***Cedrela montana* Moritz ex Turcz.**

Familia: Meliaceae

Nombres comunes: Cedro, cedrillo, cedro andino, flor de madera.

Nativa

Origen y distribución geográfica: originaria de los Andes desde Venezuela hasta Perú. En el Ecuador se encuentra creciendo sobre regiones montañosas desde los 1500 a 3500 m s.n.m., en las provincias de Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha y Tungurahua [30].

TABLA 17. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	N° de individuos
Américas	1
Bilbao	2
Calderon	1
De la Platería	1
Del Playón	4
Duchicelas	10
El Oriente	1
El Recreo	3
Ferrovial	5
Guatana	36
Huagrahuma	9
La Compañía	3
La Huaira	1
La Isla	1

La Madre	10
La Paz	1
La Prensa	1
La Recoleta	3
La Unión	3
Los Libertadores	1
Los Traviesos	1
Napo	1
Paraíso A	14
Paraíso II	1
Paraíso V	3
Parque del Árbol de Navidad	2
Orillas del Tomebamba	33
Universidad del Azuay	5
Universidad del Azuay CCTT	11
Orillas del Yanuncay	162

***Callistemon lanceolatus* (Sm.) Sweet**

Familia: Myrtaceae

Introducido

Origen: originario de la región sureste de Australia [31].

TABLA 18. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	N° de Individuos
Abraham Lincoln	2
Américas	5
Artemisa	4
Baroja	5
Castellana	3
Corazón de María	1
Curiquingue	6
Darwin	2
De los Cipres	1
Del Playón	7
Duchicelas	3
El Cebollar III	2
El Molinero	7
El Rosario	7
Fray Jodoco	2
Granadinos	5
Huagrahuma	2
Iberia	3
La Compañía	2
La Gorgona	8
La Huaira	14
La Madre	5
La Prensa	3
La República	1
La Unión	3
Latinoamericano	2
Los Andes	11
Los Traviesos	2
Pamplona	4

Paraíso A	24
Paraíso B	3
Paraíso II	2
Parque del Árbol de Navidad	7
Parque del Redondel del IESS	14
Público	5
San Sebastián	1
Orilla del Tomebamba	10
Universidad del Azuay	11
Universidad del Azuay CCTT	20
Úrano	1
Valladolid	1
Vicente Mideros	3
Virgen del Milagro	1
Orilla del Yanuncay	108

***Myrcianthes hallii* (O. Berg) McVaug**

Familia: Myrtaceae

Otro nombre común: Arrayán, guagual

Nativa

Origen y distribución geográfica: originaria de los Andes desde Venezuela hasta Perú. En el Ecuador ha sido registrada en las provincias de Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Loja y Pichincha; entre los 2500 y 3000 m s.n.m.

TABLA 19. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	N° de Individuos
Calderon	7
Curiquingue	1
Del Playón	2
Duchicelas	2
El Recreo	4
Juan Stiehle	2
Juventino Vélez Ontaneda	2
La Fogata	6
La Isla	1
La Libertad	14
La Madre	5
La Prensa	5
La República	1
María Auxiliadora	1
Mayaicu	1
Paraíso A	17
Parque del Árbol de Navidad	6
San Blas	2
San Sebastián	2
Santa Anita	5
Orillas del Tomebamba	15
Universidad del Azuay	3
Universidad del Azuay CCTT	4
Orillas del Yanuncay	102

***Podocarpus sprucei* Parl.**

Familia: Podocarpaceae

Nombre común: Guabisay, romerillo

Nativa

Origen y distribución geográfica: Se distribuye en Ecuador y Perú; en el Ecuador se registra desde los 2000 a 4000 m s.n.m., en las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Chimborazo y Loja [27].

TABLA 20. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	N° de Individuos
Bilbao	4
Calderón	1
Del Playón	3
Fray Jodoco	1
Juan Stiehle	7
Júpiter	6
La Huaira	1
La Libertad	15
La Madre	1
La Prensa	6
La República	1
Paraíso A	8
Paraíso B	5
Paraíso IV	4
Parque del Árbol de Navidad	4
San Blas	1
San Sebastián	1
Orillas del Tomebamba	31
Universidad del Azuay	5
Universidad del Azuay CCTT	5
Valladolid	2
Orillas del Yanuncay	125

***Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.**

Familia: Rosaceae

Nombre común: Níspero

Introducida

Origen: originaria de China y Japón.

TABLA 21. UBICACIÓN ESPECIES [25]

Parque	N° de Individuos
Abraham Lincoln	3
Américas	2
Curiquingue	1
Del Escritor	2
Del Playón	11
El Ángel	1
Ferroviana	2
Huagrahuma	2

La Isla	3
La Madre	6
La Unión	4
Paraíso A	26
Paraíso B	6
Paraíso IV	2
Parque del Árbol de Navidad	6
Universidad del Azuay CCTT	10
Orillas del Yanuncay	72

Análisis de modelos previamente entrenados existentes

Después de una revisión bibliográfica y práctica pudimos definir usar transfer learning con modelos previamente entrenados existentes, entre los modelos que se evaluaron: ResNet152V2, EfficientNetB7 y finalmente InceptionResNetV2, [22] de los cuales este último resultó el que se apegaba a nuestras necesidades para el aprendizaje de nuestra red.

Las variables que hicieron que InceptionResNetV2 sea el modelo elegido fueron a que con un tamaño considerable de 215MB se puede obtener una alta precisión en poco tiempo de entrenamiento, como se puede observar en la tabla 22.

TABLA 22. COMPARACIÓN MODELOS DE APRENDIZAJE [22]

Modelo	Tamaño (MB)	Precisión Top-1	Precisión de los 5 mejores	Parámetros	Profundidad	Tiempo (ms) por paso de inferencia (CPU)	Tiempo (ms) por paso de inferencia (GPU)
ResNet152V2	232	78,0%	94,2%	60,4 Mill	307	107.5	6.6
InceptionResNetV2	215	80,3%	95,3%	55,9 Mill	449	130.2	10.0
EfficientNetB7	256	84,3%	97,0%	66,7 millones	438	1578.9	61.6

Las imágenes que se utilizaron para el entrenamiento fueron tomadas en campo, directamente sin extraer la hoja del árbol, con esta metodología el entrenamiento no resultaba eficiente, por lo que, para una siguiente etapa del muestreo de especies, se optó por extraer las hojas de los árboles y tomar las fotografías con un fondo sólido de color claro, de esta forma, el entrenamiento final tuvo mayor eficiencia con las diferentes especies que se fueron agregando al entrenamiento.



Figura 2. Toma de Muestras con Fondo Sólido.

Para la Realización de la primera parte que corresponde al entrenamiento se efectuó el diagrama.



Diagrama 2. Proceso entrenamiento de la red

Implementación de la aplicación.

Después de realizar varias pruebas de modelos entrenados existentes, se decidió que para realizar nuestra aplicación aplicaremos transfer learning, con el modelo

InceptionResNetV2 por todas las características expuestas en la Tabla 22.

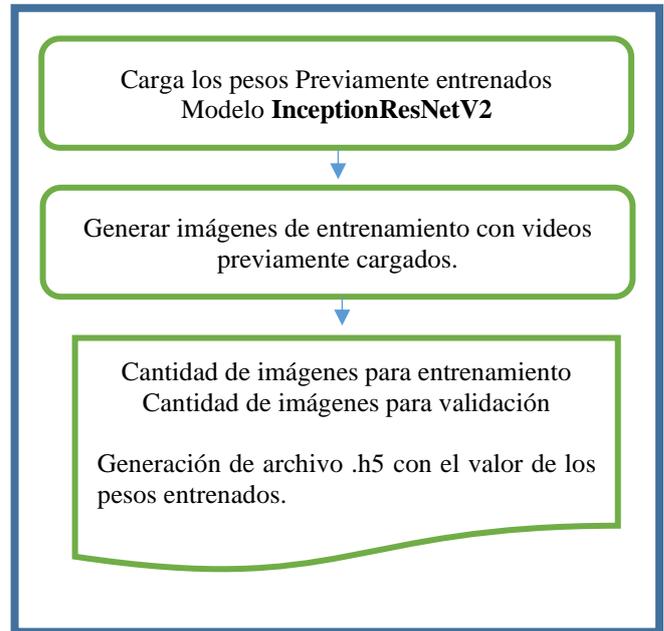


Diagrama 3. entrenamiento de la red

Base de datos

Para el almacenamiento de toda nuestra base de datos se está utilizando esta plataforma virtual llamada Fire Base, la cual nos permite desarrollar nuestra aplicación con mayor rapidez y eficiencia, en la misma tendremos alojado lo que es las imágenes de historial que servirán para futuros estudios por parte del Herbario.

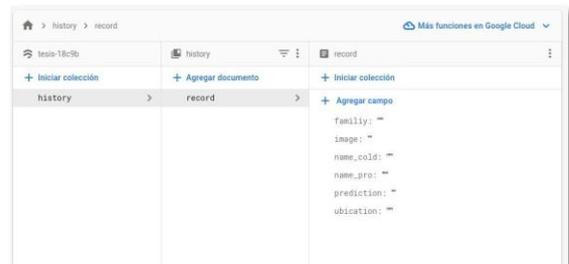


Figura 3. Base de datos (FireBase)

Front

Para realizar la parte del Front de nuestra aplicación móvil se decidió por usar react native que es una framework JavaScript para programar aplicaciones web y móviles para iOS y Android

Esquema Inception ResNet V2

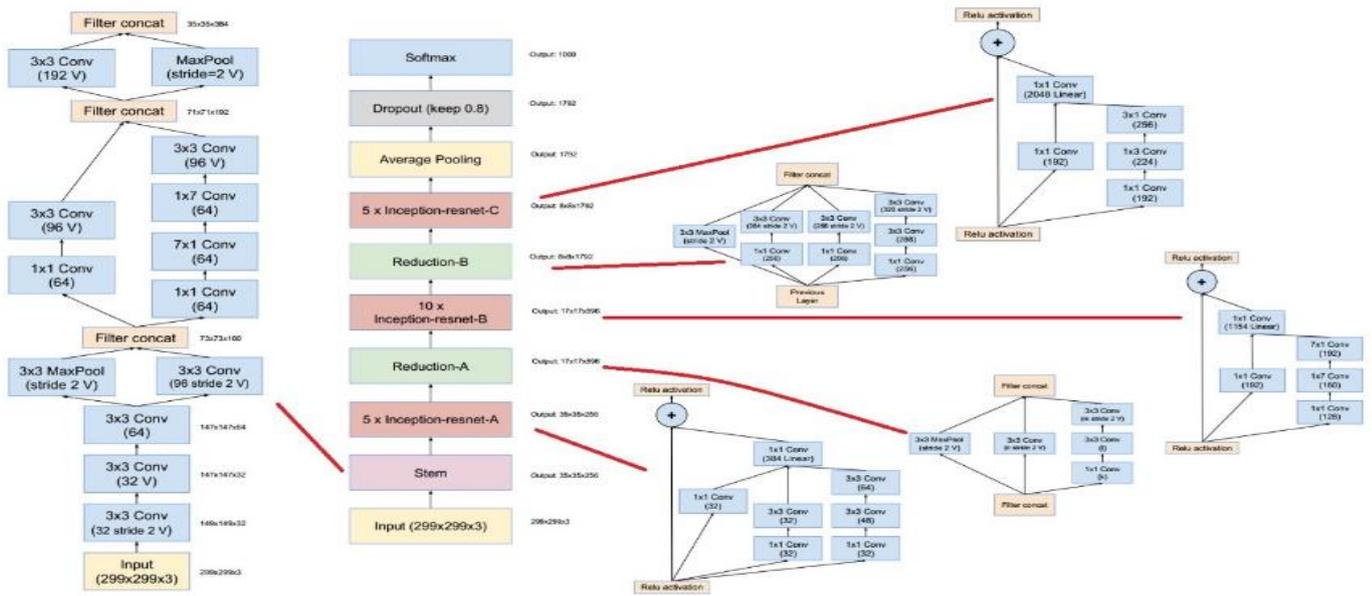


Diagrama 4. Esquema InceptionResNetV2 [32]

Diagrama de flujo App.

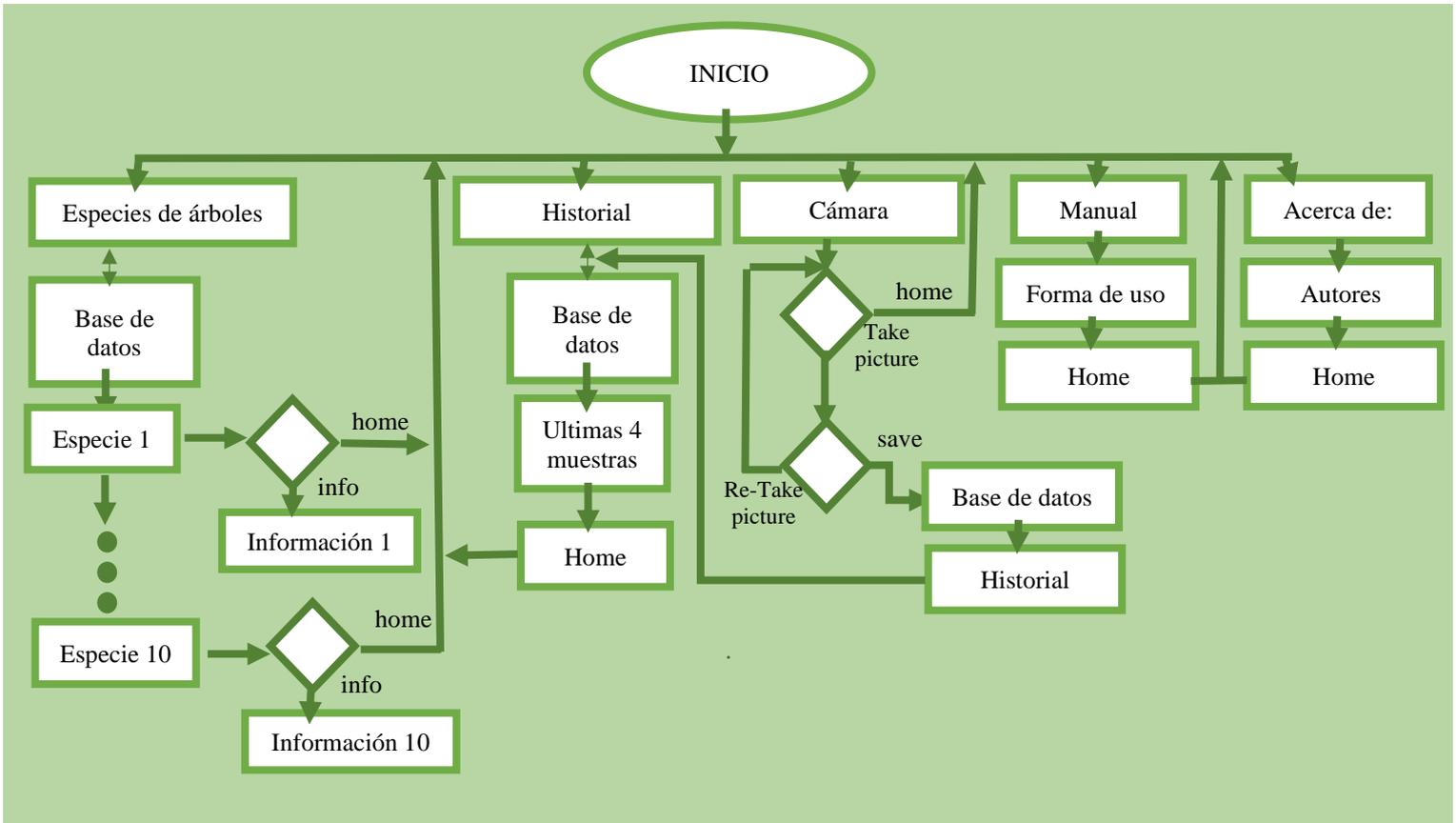


Diagrama 5. Diagrama de flujo de la app

Pruebas de funcionamiento.

Graficamos los resultados de cada época del entrenamiento con indicadores gráficos de la eficiencia y perdida obtenida con el modelo entrenado

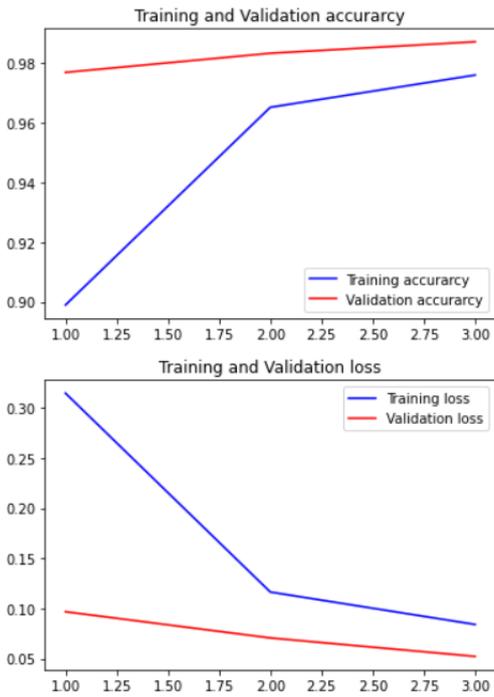


Figura 4. Eficiencia y perdida obtenida

Los resultados obtenidos con imágenes de validación en las primeras pruebas nos demuestran una efectividad del 97.69% de acierto

```

Acacia=0.32992008328437805, time = 0.1456444263458252
Acacia=0.3298999951908875, Arrayan=0.0, Cepillo=0.6657000184059143, Fresno=0.0034000000450760126, Jacar.
Arrayan=0.9999966213989258, time = 0.16784726219177246
Acacia=0.0, Arrayan=1.0, Cepillo=0.0, Fresno=0.0, Jacaranda=0.0, Nispero=0.0
Cepillo=0.9998691082000732, time = 0.12617945671081543
Acacia=0.999999747378752e-05, Arrayan=0.0, Cepillo=0.999899834060669, Fresno=0.0, Jacaranda=0.0, Nispero=0.0
Fresno=0.884176449775696, time = 0.13778328895568848
Acacia=0.00659999964237213, Arrayan=0.49619999676942825, Cepillo=0.0026000000070780516, Fresno=0.888400002802
Jacaranda=0.9969748258590698, time = 0.13975977897644043
Acacia=0.0008999999845400453, Arrayan=9.99999747378752e-05, Cepillo=9.99999747378752e-05, Fresno=0.000799999979
Nispero=0.9999849796295166, time = 0.0852961540222168
Acacia=0.0, Arrayan=0.0, Cepillo=0.0, Fresno=0.0, Jacaranda=0.0, Nispero=1.0
    
```

Figura 5. Resultados de validación

Pruebas de Front

Como primera fase del prototipo se obtuvo estos resultados en cuanto a la parte gráfica, poco a poco se los fue perfeccionando según las necesidades generadas o las retroalimentaciones obtenidas por parte del Herbario.

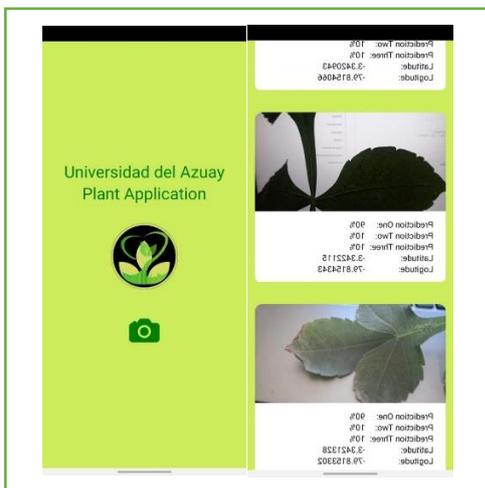


Figura 6. Fase 1 Front

IV. RESULTADOS

Resultado obtenido de la Matriz de Confusión

TABLA 23. MATRIZ DE CONFUSIÓN

true label \ predicted label	Acacia	Arrayan	Cedrela	Cepillo	Fresno	Guaylo	Jacaranda	Juglans	Nispero	Podocarpus
Acacia	376	0	0	0	0	0	1	0	0	3
Arrayan	0	380	0	0	0	0	0	0	0	0
Cedrela	0	0	377	0	0	0	0	2	1	0
Cepillo	2	0	0	358	0	0	0	0	0	20
Fresno	0	0	0	1	377	0	0	2	0	0
Guaylo	1	0	1	0	4	366	0	8	0	0
Jacaranda	1	0	0	0	0	0	53	0	0	0
Juglans	0	0	0	0	1	0	0	379	0	0
Nispero	0	0	0	0	1	0	0	1	378	0
Podocarpus	2	0	0	3	0	0	0	0	0	375

Experiencia de Usuario

Cuando la aplicación inicia, se muestra la pantalla de la Fig. 7, en la cual tenemos diferentes botones los cuales nos dirigen a varias funciones que tiene el aplicativo:

1. Especies de árboles
2. Historial
3. Cámara
4. Manual
5. Acerca de



Figura 7. Inicio App

Especies de Árboles

En la pantalla que se representa en la Fig. 8 se puede observar las 10 especies definidas, las cuales la aplicación está en capacidad de analizar y reconocer las hojas de cada una de ellas, adicional si el usuario presiona sobre la imagen de cada árbol, se despliega una nueva pantalla con un resumen de la información y 3 fotografías adicionales para el mejor entendimiento y reconocimiento por parte del usuario.



Figura 8. Especies de Árboles

Historial

En la pestaña de Historial podremos observar las 4 últimas muestras tomadas, con su respectiva predicción y como extra nos proporciona la ubicación de cada muestra tomada.



Figura 9. Historial

Cámara

El botón que representa la cámara Fig. 7, habilita la función para toma de muestra y reconocimiento de las hojas de las diferentes especies, en esta pantalla tenemos la opción de regresar al menú principal o tomar la fotografía de la hoja. Una vez que la muestra fue tomada podemos grabar (**save**) para que la misma sea almacenada en la base de datos, y si tenemos algún inconveniente con la muestra actual podemos volver a tomar la fotografía (**Re-Take**).



Figura 10. Cámara

Acerca de

En la Fig. 11 podremos observar el nombre de la universidad acompañado de los nombres de los autores del presente trabajo de titulación, con el apoyo del personal del Herbario de la Universidad del Azuay.



Figura 11. créditos del aplicativo

Manual

La sección de Manual es una breve guía que describe cada parte de la aplicación desarrollada.



Figura 12. Manual de Uso

V. CONCLUSIONES

Se desarrolló una aplicación móvil compatible con Android con fines educativos para la ciudadanía Cuencana, como para la comunidad universitaria en especial para la escuela de Biología de la Universidad del Azuay, dicha aplicación hace uso de transfer learning, al usar esta aplicación se tiene una efectividad mayor al 70% en el reconocimiento de las 10 especies usadas en este trabajo de titulación, se espera que a futuro se pueda realizar una segunda versión del aplicativo con más especies a estudiar, de esta forma poder incentivar el estudio y la conservación de las especies de árboles que se encuentran en los ríos y parques de la ciudad, como también se podrá incrementar de gran manera la información guardada en la base de datos para el uso en futuros proyectos o investigaciones del Herbario.

REFERENCIAS

VI. BIBLIOGRAPHY

- [1] L. P. Rouhiainen, "Inteligencia artificial," Planeta, S.A., Barcelona, 2018.
- [2] GoRaymi International Touristic Platform S.A. (15 de junio de 2022) <https://www.goraymi.com/es-ec/azuay/cuenca/ciudades/cuenca-turismo-a400e5b38>.
- [3] Gerardo A. Carrillo-Niquete, "Cuando los árboles se estresan,," Centro de Investigación Científica de Yucatán, Yucatán, 2022.
- [4] M. Ange, "desarrollo de una aplicación móvil y web de las plantas nativas," Universidad Técnica de Cotopaxi, Iatacunga, 2020.
- [5] C. Martínez, "uptodown," 2021. [Online]. Available: <https://flora-incognita.uptodown.com/android#:~:text=Flora%20Incongnita%20es%20una%20herramienta,de%20la%20especie%20en%20concreto>. [Accessed 4 mayo 2022].
- [6] G. Bejerano, "PlantNet, un Shazam para identificar plantas," tecnoxplora, Madrid, 2016.
- [7] California academy of Sciences, "iNaturalist, una red social para la biodiversidad,," National Geographic Society, California.
- [8] L. Unda, "App Store," Nth development, [Online]. Available: <https://apps.apple.com/ec/app/floramo/id1449741972>. [Accessed 4 mayo 2022].
- [9] Y. Fernández, "xataca basic," xataca, 9 Julio 2021. [Online]. Available: <https://www.xataka.com/basics/9-aplicaciones-para-identificar-plantas-tu-movil>. [Accessed 4 mayo 2022].
- [10] J. Urquijo, "Leafsnap," greenappsandweb, Columbia, 2015.
- [11] AIBY Inc, "natureid," 2020. [Online]. Available: <https://natureid.com/blog/>. [Accessed 4 mayo 2022].
- [12] F. Sánchez Sánchez, "Desarrollo de una aplicación de seguridad vial en Android," Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2017.
- [13] M. Boden, "inteligencia Artificial," turner publicaciones, Madrid, 2016.
- [14] Raquel Florez-Lopez, "Las redes neuronales artificiales," Oleiros (La Coruña) : Netbiblo., La Coruña, 2008.
- [15] "Redes neuronales convolucionales en R," Universidad de Sevilla, Sevilla, 2017.
- [16] J. Bagnato, "Aprende Machine Learning," Na8, Buenos Aires, 2018.
- [17] TSUNEKAWA, "APLICACIONES DEL APRENDIZAJE REFORZADO EN ROBÓTICA," UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago de Chile, 2018.
- [18] V. Martín Abadi, "TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning," USENIX Association, Savannah, 2016.
- [19] J. Z. Ruiz, "Comparación y análisis de métodos de clasificación con," ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA, MÁLAGA, 2019.
- [20] Santos, "Machine Learning a tu alcance: La matriz de confusión," Telefonica Tech, 2018.
- [21] J. Pan, "Transferencia de aprendizaje. Clasificación de datos: algoritmos y aplicaciones," Nanyang Technological University, Singapore, 2014.
- [22] keras, "Aplicaciones Keras," keras.
- [23] Minga, D., Guzmán, N., M. Jiménez. (2019) Árboles de los bosques de las estribaciones orientales de la cuenca del río Paute. Universidad del Azuay. Imprenta Digital Universidad del Azuay. Cuenca.

- [24] M. Mendoza, "Potencial forrajero de *Clusia pseudomangle* Planch. & Triana (Clusiaceae) y *Delostoma integrifolium* D. Don (Bignoniaceae)," Arnaldoa, 2020.
- [25] IERSE, "Sistema de Inventario Forestal de Parques y Riberas de la ciudad de Cuenca," IERSE, Cuenca.
- [26] A. Carrillo, "Jacaranda mimosifolia: características y utilización.," 2014.
- [27] De la Torre, L., H. Navarrete, P. Muriel, M.J. Macía & H. Balslev (eds). 2008. Enciclopedia de Plantas útiles del Ecuador. Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador & Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus. Quito & Aarhus.
- [28] Ministerio de Agricultura, pesca, alimentación y medioambiente., "atálogo español de especies exóticas: *Acacia dealbata* Link.," Gobierno de España, 2013.
- [29] Minga, D y A. Verdugo 2016. Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca. Serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay. Imprenta Don Bosco. Cuenca.
- [30] Resources., "The IUCN Red List of Threatened Species," 2022.
- [31] V. Shilpa, "Glossary of *Callistemon lanceolatus* D.C. – An ornamental plant with Marvellous Properties.," Research Journal of Pharmacology and Pharmacodynamics., 2015.
- [32] S. Manna, "Building Inception-Resnet-V2 in Keras from scratch," Indian Statistical Institute, Kolkata, 2019.