

**Prototipo de aplicación móvil para la gestión de ventas en el sector agrícola
integrando técnicas de inteligencia artificial y computación en la nube**

**Javier Abuchaibe Manzano
Xahep Julián Gómez Durán**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA – UNAB
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
PROYECTO DE GRADO II
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN TELEMÁTICA
BUCARAMANGA, NOVIEMBRE 19 DE 2021**

**Prototipo de aplicación móvil para la gestión de ventas en el sector agrícola
integrando técnicas de inteligencia artificial y computación en la nube**

**Javier Abuchaibe Manzano
Xahep Julián Gómez Durán**

**Proyecto de Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero de
Sistemas**

DIRECTOR:

Leonardo Hernán Talero Sarmiento

CO-DIRECTOR:

Feisar Enrique Moreno Corzo

ASESOR:

Diana Teresa Parra Sánchez

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA – UNAB
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
PROYECTO DE GRADO II
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN TELEMÁTICA
BUCARAMANGA, NOVIEMBRE 19 DE 2021**

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 9 |
| 3. OBJETIVOS..... | 11 |
| 3.1. Objetivo general | 11 |
| 3.2. Objetivos específicos..... | 11 |
| 4. MARCO REFERENCIAL | 12 |
| 4.1. Marco conceptual | 12 |
| 4.2. Marco teórico..... | 13 |
| 4.3. Análisis del estado del arte..... | 21 |
| 4.4. Marco legal..... | 27 |
| 5. METODOLOGÍA..... | 28 |
| 5.1. Descripción de la metodología | 28 |
| 6. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE APRENDIZAJE..... | 30 |
| 6.1. Adquisición de datos | 30 |
| 6.2. Limpieza y etiquetado..... | 32 |
| 6.3. Data augmentation | 33 |
| 6.4. Modelo de aprendizaje implementado..... | 36 |
| 6.5. Entrenamiento | 38 |
| 6.6. Conversión del modelo..... | 44 |
| 7. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO | 46 |
| 7.1. Requerimientos | 46 |
| 7.2. Diagrama de componentes | 48 |
| 7.3. Diagrama entidad-relación..... | 49 |
| 7.4. Diagrama de clases..... | 50 |
| 7.5. Diagrama de casos de uso | 51 |
| 7.6. Diseño | 52 |
| 7.7. Desarrollo | 53 |
| 8. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO..... | 54 |
| 8.1. Evaluación de la usabilidad mediante el System Usability Scale (SUS)..... | 54 |
| 8.2. Evaluación del modelo de aprendizaje | 55 |
| 9. DISCUSIÓN..... | 58 |
| 10. CONCLUSIÓN..... | 60 |
| 11. REFERENCIAS | 61 |
| 12. ANEXOS | 66 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Análisis de documentos recuperados..... | 26 |
| Tabla 2. Especificaciones de los dispositivos móviles..... | 30 |
| Tabla 3. Entrenamientos de los modelos de aprendizaje..... | 40 |
| Tabla 4. Resultados de la evaluación del modelo..... | 56 |
| Tabla 5. Especificación de caso de uso Iniciar sesión..... | 87 |
| Tabla 6. Especificación de caso de uso Registro..... | 88 |
| Tabla 7. Especificación de caso de uso Cerrar sesión..... | 89 |
| Tabla 8. Especificación de caso de uso Ver usuarios..... | 89 |
| Tabla 9. Especificación de caso de uso Contactar usuario..... | 90 |
| Tabla 10. Especificación de caso de uso Consultar precios del limón Tahití..... | 91 |
| Tabla 11. Especificación de caso de uso Estimar ganancias..... | 91 |
| Tabla 12. Especificación de caso de uso Guardar registro..... | 92 |
| Tabla 13. Especificación de caso de uso Contar bultos de limón Tahití..... | 92 |
| Tabla 14. Especificación de caso de uso Visualizar historial de registros..... | 93 |
| Tabla 15. Especificación de caso de uso Abrir hoja de cálculo..... | 94 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Visión por computador | 14 |
| Figura 2. Red neuronal..... | 15 |
| Figura 3. Función tipo escalón | 15 |
| Figura 4. Ejemplo de data augmentation..... | 17 |
| Figura 5. Imagen en representación vectorial (izquierda) y en pixelado bitmap (derecha)..... | 18 |
| Figura 6. Función de histograma..... | 18 |
| Figura 7. Visualización de una red neuronal convolucional..... | 19 |
| Figura 8. Funcionamiento de YOLO..... | 20 |
| Figura 9. Ejemplo de las fotografías tomadas | 31 |
| Figura 10. Ejemplo de las fotografías tomadas | 31 |
| Figura 11. Ejemplo etiquetado de imágenes | 32 |
| Figura 12. Ejemplo de data augmentation..... | 33 |
| Figura 13. Ejemplo de data augmentation..... | 34 |
| Figura 14. Ejemplo de data augmentation..... | 34 |
| Figura 15. Ejemplo de data augmentation..... | 35 |
| Figura 16. Comparación de YOLO | 37 |
| Figura 17. Configuración del archivo Makefile..... | 38 |
| Figura 18. Importación del dataset | 39 |
| Figura 19. Ejecución del entrenamiento | 40 |
| Figura 20. Resultado del entrenamiento 1 | 41 |
| Figura 21. Resultado del entrenamiento 2 | 42 |
| Figura 22. Resultado del entrenamiento 3 | 43 |
| Figura 23. Resultado del entrenamiento 4 | 44 |
| Figura 24. Configuración del directorio assets | 45 |
| Figura 25. Diagrama de componentes del prototipo..... | 48 |
| Figura 26. Diagrama entidad - relación | 49 |
| Figura 27. Diagrama de clases..... | 50 |
| Figura 28. Diagrama de casos de uso..... | 51 |
| Figura 29. Tabla de puntajes SUS | 54 |
| Figura 30. Grados, adjetivos y aceptabilidad asociadas a los puntajes SUS | 54 |
| Figura 31. SUS en una curva con rangos percentiles | 55 |
| Figura 32. Ejemplo de evaluación del modelo..... | 56 |
| Figura 33. Ejemplo de evaluación del modelo..... | 57 |
| Figura 34. Pantalla de inicio de sesión | 66 |
| Figura 35. Pantalla de inicio | 67 |
| Figura 36. Pantalla de inicio | 67 |
| Figura 37. Pantalla principal del escáner | 68 |
| Figura 38. Pantalla de resultados..... | 68 |
| Figura 39. Pantalla de precios históricos..... | 69 |
| Figura 40. Pantalla de redirección a registros | 69 |
| Figura 41. Pantalla de perfil..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| Figura 42. Pantalla de envío de correos..... | 70 |
| Figura 43. Pantalla de inicio de sesión..... | 71 |
| Figura 44. Pantalla de inicio | 72 |
| Figura 45. Pantalla de inicio | 72 |
| Figura 46. Pantalla principal de escáner | 73 |
| Figura 47. Pantalla para ingresar datos por IA..... | 73 |
| Figura 48. Pantalla con bultos detectados | 74 |
| Figura 49. Pantalla de resultados..... | 74 |
| Figura 50. Pantalla de ingresar datos manuales | 75 |
| Figura 51. Pantalla de registros..... | 75 |
| Figura 52. Pantalla de gráficos..... | 76 |
| Figura 53. Pantalla de perfil..... | 76 |
| Figura 54. Pantalla de ver otros usuarios..... | 77 |
| Figura 55. Pantalla de contactar usuario | 77 |
| Figura 56. Pregunta 1 del formulario SUS..... | 81 |
| Figura 57. Preguntas 2 - 7 del formulario SUS..... | 82 |
| Figura 58. Preguntas 8 - 10 del formulario SUS..... | 83 |
| Figura 59. Respuestas pregunta 1 del formulario SUS | 83 |
| Figura 60. Respuestas preguntas 2 - 4 del formulario SUS | 84 |
| Figura 61. Respuestas preguntas 5- 7 del formulario SUS | 85 |
| Figura 62. Respuestas preguntas 8 - 10 del formulario SUS | 86 |
| Figura 63. Evaluación 1 del modelo de aprendizaje..... | 95 |
| Figura 64. Evaluación 2 del modelo de aprendizaje..... | 96 |
| Figura 65. Evaluación 3 del modelo de aprendizaje..... | 97 |
| Figura 66. Evaluación 4 del modelo de aprendizaje..... | 98 |
| Figura 67. Evaluación 5 del modelo de aprendizaje..... | 99 |
| Figura 68. Evaluación 6 del modelo de aprendizaje..... | 100 |
| Figura 69. Evaluación 7 del modelo de aprendizaje..... | 101 |
| Figura 70. Evaluación 8 del modelo de aprendizaje..... | 102 |
| Figura 71. Evaluación 9 del modelo de aprendizaje..... | 103 |
| Figura 72. Evaluación 10 del modelo de aprendizaje..... | 104 |
| Figura 73. Evaluación 11 del modelo de aprendizaje..... | 105 |
| Figura 74. Evaluación 12 del modelo de aprendizaje..... | 106 |
| Figura 75. Evaluación 13 del modelo de aprendizaje..... | 107 |
| Figura 76. Evaluación 14 del modelo de aprendizaje..... | 108 |
| Figura 77. Evaluación 15 del modelo de aprendizaje..... | 109 |

LISTADO DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo A. Interfaces gráficas..... | 66 |
| Anexo B. Entrevistas a usuarios..... | 78 |
| Anexo C. Formulario del Sistema de escala de usabilidad (SUS)..... | 81 |
| Anexo D. Respuestas del formulario del Sistema de escala de usabilidad (SUS) | 83 |
| Anexo E. Especificaciones de casos de uso | 87 |
| Anexo F. Pruebas del modelo de aprendizaje..... | 95 |

RESUMEN

El proyecto que será presentado a continuación trata sobre el diseño y la construcción de un prototipo de aplicación móvil para la gestión de ventas en el sector agrícola. En el desarrollo del proyecto se hizo fuerte énfasis en la utilización de tendencias tecnológicas relevantes y crecientes, por esto se hizo uso de la computación en la nube y la inteligencia artificial. El diseño del prototipo se vio altamente influenciado por el usuario final, los agricultores, a través de un diseño colaborativo. El prototipo que se desarrolló, a través del análisis de imágenes, realiza un conteo de los bultos de limón en sus bodegas y devuelve un precio estimado, se espera que esto ayude en el proceso de tomas de decisiones de los agricultores. El aplicativo se desarrolló para dispositivos móviles con sistema operativo Android y requiere del uso de la cámara móvil de dicho dispositivo, además la mayoría de sus funcionalidades estarán disponibles aún si no se cuenta con conexión a internet. Para el cálculo de los precios estimados se utilizan datos publicados por la entidad responsable de la producción de estadísticas oficiales en Colombia, el DANE. El desarrollo del proyecto consta de varias etapas, la primera de ellas fue la recopilación y el estudio exhaustivo de la literatura relevante que nos permitió ampliar nuestros conocimientos sobre las tecnologías y las técnicas asociadas a nuestro proyecto. Posteriormente, se realizan dos diseños principales que atraviesan una etapa de selección con apoyo de los usuarios finales. Por último, se construye el prototipo y se verifica su funcionamiento.

ABSTRACT

The project that will be presented provides an overview of the design and development of a mobile app prototype focused on aiding the sales management process in the agricultural sector. The project was built around new and rising technological trends, that's why cloud computing and artificial intelligence were such a big part of the project. The design of the mobile app was strongly influenced by the end users, people working in the agricultural sector, through collaborative design. The prototype, through image analysis, counts the amount Tahiti lime sacks in the user's warehouse and gives the user an estimated selling price, we hope this will improve the decision making of the agriculturists. The prototype was developed for smartphones with Android OS and requires the use of the camera of the device, it's also important to note that most of the functionalities will continue working even if there's not an active internet connection. To estimate the selling prices we utilize data published by the department responsible for the planning, analysis and dissemination of the official statistics of Colombia, DANE. The development of the project was divided into four main stages. Firstly, we gathered and studied all the relevant literature which allowed us to broaden our knowledge about the technologies and techniques associated to our project. In the second place, we sketch two designs that went across a selection phase in which the end user participated. In the third place, the prototype was built. In the fourth and last place, the prototype was tested.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en Colombia es un factor de gran importancia gracias a su significativo aporte al producto interno bruto (PIB), la generación de empleos, el desarrollo rural y a la seguridad alimentaria (DVA, 2020). Colombia cuenta con 22 millones de hectáreas cultivables de las cuales solo están sembradas 4.8 millones, posicionándolo como “uno de los países con mayor potencial para el desarrollo de áreas cultivables” según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Semana, 2016). No obstante, el sector agrario colombiano afronta una serie de limitaciones que le impiden alcanzar todo su potencial, la insuficiencia de créditos, una infraestructura rural inadecuada, el conflicto armado y la falta de tecnología, son algunas de estas limitaciones (DVA, 2020).

De hecho, la falta de tecnología en las zonas rurales es preocupante ya que restringe el desarrollo agrícola e impide alcanzar la Misión para la Transformación del Campo (MTC), esta es una iniciativa del Gobierno Nacional para el desarrollo del campo colombiano en los próximos veinte años (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), 2015). La gravedad del problema fue evidenciada en una encuesta de la Usabilidad TIC en el Sector Agropecuario (UTSA) que demostró que el 70% de los colombianos del campo no usan la tecnología (Rivera Mesa, 2019). Lo anterior implica que la falta de tecnología en el campo colombiano es un problema que debe ser abordado si se quiere posicionar al país como una de las grandes despensas del mundo.

Actualmente, existen diversas herramientas que facilitan y agilizan los procesos agrícolas, estas varían desde la detección de enfermedades en plantas y animales hasta la automatización del riego. Sin embargo, el prototipo planteado en este documento tiene como propósito facilitar el proceso logístico del cultivo, presentando como supuesto que el tiempo que dedican los agricultores al conteo de sus productos se verá drásticamente reducido si utilizan el prototipo. Además, a través del aplicativo obtendrán el valor de sus cultivos en distintos mercados del área metropolitana, con esto podrán tomar una decisión informada sobre dónde vender sus productos para obtener un mayor beneficio.

En este proyecto se trabajan dos tendencias tecnológicas, la primera de ellas es la inteligencia artificial, más específicamente el análisis de imágenes que, a través de su uso, se extraerá información relevante contenida en las imágenes proporcionadas por el usuario (Aguirre Dobernack, 2013). Por otra parte, la computación en la nube, una tecnología en auge permitirá almacenar toda la información en los servidores de Google, adicional a esto se utilizarán las herramientas que esta empresa ofrece a sus usuarios para ofrecer diversas alternativas al usuario final. Por último, se quiere evaluar el funcionamiento de estas tendencias cuando se trabajan de manera conjunta en un entorno como lo es el Smart Farming.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia, según el grupo Bancolombia, tiene como tarea convertirse en un referente de talla mundial en la producción hortofrutícola y pone sus apuestas en el prometedor limón Tahití, enfrentándose a grandes potencias mundiales como lo son China que tiene una producción de 2.676 toneladas métricas, México con 2.701 e India, liderando esta lista, con 3.482 (Orús, 2021). Esta fruta es comúnmente utilizada en preparaciones gastronómicas, esta cuenta con propiedades medicinales y aromáticas, de allí su alta demanda a nivel internacional (Semana, 2020). El comportamiento del mercado global del limón es de carácter creciente, entre el año 2007 y 2019 se observó un crecimiento promedio anual del 2.6%, en este último año mencionado dicho mercado fue de 16.500 millones de dólares. Las estimaciones arrojan que del 2020 al 2030 la demanda incrementará en un 0.12% anual, hoy en día se producen 20 millones de toneladas aproximadamente, con este aumento se espera llegar a 22 millones de toneladas de consumo global anual para el 2030 (Semana, 2020).

Los números actuales de Colombia no son comparables con los de aquellos países que lideran este mercado, pero dada la calidad del producto colombiano y las condiciones sociopolíticas del país se espera que el cultivo de limón Tahití pueda competir con esos líderes y lograr una posición más elevada en el ranking. En el 2016, la oferta exportable del limón Tahití colombiano al mundo fue de 17.532 toneladas. Dichas toneladas están distribuidas en sus principales mercados que son: Estados Unidos con 3.225 toneladas, Francia con 2.518, países bajos con 493, España con 443 y, finalmente, Ecuador con 8.859 (Botina Patiño & Díaz Moreno, 2017). Dos años después se ve un incremento significativo en la producción anual de este producto, pasando de 17.532 a 35.495 toneladas, este crecimiento se da por los grandes esfuerzos del sector agrícola colombiano que dispone de 90.000 hectáreas dedicada a cítricos de la cual una quinta parte está enfocada en la producción del limón Tahití (Grupo Bancolombia, 2018).

La producción de cítricos en el departamento de Santander representa un 24,4% de la producción del país, en este sector se generan cerca de 90.000 empleos directos e indirectos. En el departamento se cosechan alrededor de 21.000 toneladas al año, participando en el 83% de la exportación nacional de este fruto, de esta manera se convierte en el principal productor a nivel nacional del limón Tahití (Instituto Colombiano Agropecuario, 2021). El cultivo y la exportación del producto en Santander contribuye al logro de una de las metas planteadas en el Plan de Desarrollo Departamental 2020 – 2023, dicha meta está enfocada en lograr que 48 nuevos productos del Campo colombiano sean aceptados en el extranjero con el objetivo de “mejorar las condiciones sanitarias de los productos agropecuarios para impulsar el aprovechamiento de los tratados de libre comercio mediante el diseño de un plan integral de admisibilidad sanitaria” (PDD-Santander, 2020).

Según los 17 objetivos de desarrollo sostenible propuestos por la ONU, el presente proyecto se enfoca en tres de ellos, los cuales son: Trabajo decente y crecimiento económico; industria, innovación e infraestructura y producción y consumos responsable (Naciones Unidas, 2015). En primer lugar, se propone el crecimiento económico inclusivo y sostenido como impulsor del progreso para que, a través de este, se generen nuevos empleos que mejoren los estándares de vida. La aplicación pretende promover el crecimiento económico del usuario con el fin de mejorar sus condiciones de vida. En segundo lugar, un prototipo como el propuesto tiene la capacidad de generar una transformación tecnológica para el usuario, esta le permitirá competir y desempeñarse mejor en el mercado gracias a la introducción de nuevas tecnologías. Por último, la gestión eficiente se asocia con la producción responsable de su producto de tal manera que no se generen desperdicios (Naciones Unidas, 2015).

Para la ejecución del proyecto es necesario implementar diversas herramientas, una de ellas se deriva de la Inteligencia Artificial, y a esta última le define como: “el conjunto de teorías y de algoritmos que permiten que las computadoras lleven a cabo tareas que, típicamente, requieren capacidades propias de la inteligencia humana y, en ocasiones, mejoran dichas capacidades.” (Fernández, 2019). La rama que se va a utilizar es la visión por computadora, esta se encarga de, mediante un conjunto de procesos, brindarle a un computador la capacidad de extraer información de imágenes del mundo real para luego poder tomar decisiones sobre dicha información. La visión por computador suele estar acompañada de otra rama de la Inteligencia Artificial llamada *Machine Learning*. Trabajando en conjunto, estas herramientas pueden ser utilizadas para tareas de reconocimiento, clasificación, entre otras. La aplicación de estas tecnologías permite automatizar una variedad de tareas en las cuales, después de aportar diversa información a la máquina, se espera tomen decisiones acertadas. Adicional a esto, se va a utilizar Google App Script para establecer conexión con las herramientas de G Suite, entre las más destacables está Gmail, la cual se utilizará para envío de reportes y notificaciones al usuario; Google Drive, para almacenar información y datos relevantes; Por último, Hojas de Cálculo, donde el usuario podrá ver y gestionar toda la información de su cuenta.

Con todo lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera se podría facilitar el proceso de ventas en el sector agrícola haciendo uso de análisis de imágenes y la computación en la nube?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Desarrollar una aplicación móvil para la gestión de ventas en el sector agrícola haciendo uso de inteligencia artificial y computación en la Nube.

3.2. Objetivos específicos

- Objetivo 1: Caracterizar los elementos y componentes asociados a un prototipo de Smart Farming para el cultivo del limón Tahití que incorpore elementos de computación en la nube e inteligencia artificial.
- Objetivo 2: Diseñar los diferentes componentes y módulos del software mediante un diseño colaborativo.
- Objetivo 3: Construir un prototipo de sistema Smart Farming que incorpore computación en la nube y técnicas de visión por computador.
- Objetivo 4: Verificar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de software en un ambiente controlado.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco conceptual

El marco conceptual del proyecto está desarrollado en torno a los siguientes descriptores: *Internet de las cosas, agricultura inteligente, computación en la nube y limón Tahití.*

El internet de las cosas es una tecnología basada en la conexión de objetos cotidianos a internet, esta conexión se encarga de intercambiar, agregar y procesar información sobre su entorno físico para proporcionarle al usuario final un valor añadido a los servicios que este ofrece. IoT tiene como finalidad ofrecer una infraestructura que venza la barrera entre el mundo físico y los objetos para obtener una mejor representación de los sistemas de producción (Barrio, 2018). Según Puyol Montero, la integración de sensores y dispositivos con objetos cotidianos es y será un nuevo modo de interacción con el mundo físico, que llega inspirado en la idea de ubicuidad que es facilitado por el desarrollo de las TIC y la industria electrónica (Puyol, 2017).

La agricultura inteligente o Smart Farming aplica las tecnologías de información y comunicación junto con el Internet de las cosas al sector de la agricultura con la finalidad de mejorar las decisiones inmediatas y estratégicas a largo plazo (Castrignano et al., 2020). La agricultura inteligente ayuda a generar valor añadido en términos de beneficios netos mayores. También reduce el impacto medioambiental ocasionado por uso excesivo de factores de producción y trae beneficios a los animales gracias a un mejor manejo y un proceso más sofisticado de toma de decisiones (Castrignano et al., 2020). El término Smart Farming se divide en tres grandes áreas: Farm Management Information Systems (FMIS), Precision Agriculture (PA) y Automation and Robotics within the agriculture sector (Castrignano et al., 2020).

La computación en la nube “consiste en una colección de ordenadores virtualizados e interconectados que son suministrados dinámicamente y presentados como uno o más recursos computacionales unificados” (Arias, 2015). Por definición se considera como un sistema de computación distribuido orientado al consumidor, esto significa que los recursos son repartidos a múltiples usuarios dinámicamente, según la capacidad contratada por cada uno. Esta tecnología permite acceder remotamente a software, almacenamiento de archivos, procesamiento de datos, entre otros, por medio de internet quitando la necesidad de conectarse a un servidor local (Arias, 2015).

“El Limón Pérsico, también conocido como Lima Tahití, es de origen desconocido. Se considera un híbrido entre lima mexicana y la sidra puesto que las flores están desprovistas de granos de polen u óvulos viables y los frutos raras veces tienen semilla.” (Vanegas, 2002)

4.2. Marco teórico

Google Workspace, anteriormente conocido como G Suite, es un lugar de trabajo, creado por Google, que integra todas sus herramientas y es fácil de usar. Tiene como objetivo dedicar menos tiempo a administrar las tareas y más tiempo a realizarlas. Este espacio proporciona Gmail, Calendario, Meet, Chat, Drive, Documentos, Hojas de cálculo, Formularios, entre otras. Este tipo de herramientas están enfocadas para empresas grandes y pequeñas, en este espacio se implementa, por ejemplo, inteligencia artificial que se utiliza para aquellas tareas que requieren un desgaste de tiempo y pueden ser automatizadas por este servicio, como, lo puede ser, la seguridad y administración (Google Inc, 2021b).

Google Apps Script (GAS) es un lenguaje de programación basado en JavaScript moderno en la nube que permite personalizar y ampliar la funcionalidad de las herramientas ofrecidas por Google Workspace, estas funcionalidades pueden ir desde la creación y publicación de complementos hasta la creación de un sitio web, para la implementación de este lenguaje no se necesita instalar algún tipo de software gracias a que Google proporciona un editor de código incorporado directamente en el navegador, de esta manera las secuencias de comandos se ejecuta en los servidores de Google (Google Inc, 2021a).

El **análisis de imágenes** es una práctica que consiste en obtener e interpretar información contenida en una imagen (Aguirre Dobernack, 2013). Este sistema cuenta con una imagen como parámetro de entrada y un dato, normalmente numérico, como salida. Para obtener esta salida numérica se requiere que la imagen pase por diferentes etapas de procesamiento y filtrado donde esta es analizada y adecuada para su estudio. Esta práctica ingenieril nace para mejorar o restaurar imágenes de manera que su interpretación sea más fácil y productiva. También, su desarrollo contribuyó a la digitalización y codificación de imágenes a la hora de transmitir y almacenarlas (Aguirre Dobernack, 2013).

Los métodos de procesamiento de imágenes se dividen en tres grupos principales:

- Algoritmos en el dominio espacial: Hace referencia a los métodos que procesan imágenes píxel por píxel.
- Algoritmos en el dominio de la frecuencia: Métodos que se aplican sobre los coeficientes resultantes de la Transformada de Fourier de una imagen.
- Algoritmos de extracción de características: Este algoritmo está enfocado al análisis de imágenes para la extracción de información como atributos o regiones de interés.

Entre las aplicaciones del procesamiento de imágenes podemos encontrar los sistemas de inspección automatizados con visión artificial que son esenciales para incrementar la productividad y la calidad de los productos en industrias de manufactura. También podemos encontrar sistemas que nos permiten recoger información sobre recursos naturales, para esto se toman imágenes de la superficie terrestre con sensores satelitales. Además, una tendencia creciente es la utilización del análisis de imágenes con fines médicos, estos sistemas nos permiten diagnosticar enfermedades pulmonares, cardíacas, entre otras. Adicionalmente, existen sistemas encargados de rastrear objetos en movimiento para estudiar su comportamiento y reconocer dicho objeto. (Acharya & Ray, 2005)



Figura 1. Visión por computador

Las **redes neuronales artificiales** están motivadas en la modelación del cerebro humano, más específicamente en su forma de procesamiento de la información de sus sistemas nerviosos biológicos. Para entender mejor lo anterior, el cerebro humano es un sistema complejo, no-lineal y paralelo, gracias a ello se pueden realizar operaciones simultaneas mientras que un computador puede realizar una tarea a la vez. Para ello, los computadores hacen uso de las neuroredes que son procesadores de información constituidos por unidades de procesamiento llamadas neuronas. Sus características principales son las siguientes:

- Tener un comportamiento no-lineal.
- Adquirir conocimiento a través de la experiencia y almacenarlo, al igual que un cerebro humano.
- Ser capaces de cambiar, dinámicamente, con el medio.
- Nivel de tolerancia a fallas, este puede recibir un daño y tener la capacidad de continuar con un buen comportamiento.

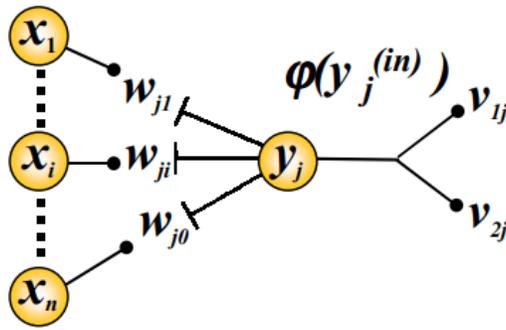


Figura 2. Red neuronal

Se explicará, a continuación, las características más relevantes, para ello tomaremos como referencia la Figura 2, las neuronas X_n son las encargadas de enviar señales de entradas a la neurona Y_j , los valores de estas señales serán valores numéricos. También contamos con las dendritas, que cuenta con un peso sináptico denotado como W_{ji} . La manera de relacionar estos tres elementos es con la siguiente fórmula:

$$Y_j^{(in)} = \sum_{i=1}^n W_{ji} * X_i$$

La entrada total de la neurona Y_j está conformada por la multiplicación del peso sináptico y su entrada, esto define la importancia relativa de cada entrada. La simbología (in) significa entrada, a esta se le debe aplicar una función de activación como por ejemplo, una función tipo escalón (Figura 3). Para tener en cuenta, si la función de activación es lineal su neurona también será lineal, de otra manera si la función es no-lineal, su neurona será no-lineal. (Izaurieta & Saavedra, 1999)

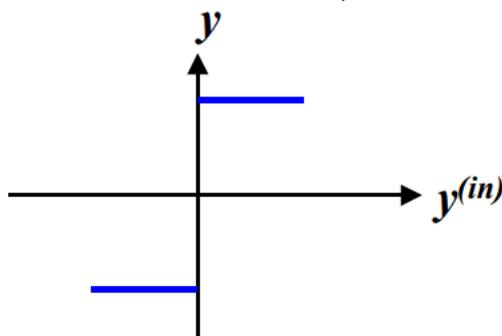


Figura 3. Función tipo escalón

Android Studio es el entorno integrado para el desarrollo de apps en Android el cual está basado en IntelliJ IDEA. El objetivo de Android Studio es aumentar la productividad en el desarrollo de apps, es por eso que cuenta con emuladores, un sistema de compilación basado en Gradle, un entorno unificado para desarrollar en todos los dispositivos de Android, compatibilidad C++ y NDK, integración con GitHub, entre otros muchos beneficios. (Android Studio Developers, 2021) Cabe resaltar que Android Studio desde el año 2019 ha preferido e incluido el lenguaje de programación Kotlin para el desarrollo de las aplicaciones. (Jiménez, 2020) Para evitar problemas de acceso, el programa funciona en diferentes sistemas operativos como Windows, MacOS, Chrome Os y Linux, finalmente los recursos mínimos para que el programa pueda ejecutarse son: 4 GB de RAM, almacenamiento de 2 GB, versión de Java 8 y monitor 1280x800, todo lo anterior para el sistema operativo Windows. (Ardións, 2016)

Google Colab, también conocido como Colab, son entornos interactivos, denominados cuadernos de Colab, que permiten escribir y ejecutar código Python en el navegador. Las principales ventajas es que no requiere una configuración previa, da acceso gratuito a GPUs y permite compartir contenido fácilmente. (Google Colab, 2021a) Está diseñado para estudiantes, científicos de datos o investigadores de inteligencia artificial. Resumiendo, un poco lo anterior y con lenguaje más técnico, Colab es un servicio de alojamiento de Jupyter Notebook que no requiere ningún tipo de configuración previa. Cabe resaltar que se establecen límites, dado que no es un recurso ilimitado, que varían rápidamente; los límites varían desde uso generales como los tiempos de inactividad, tipos de GPUs, etc. (Fuente Sanz, 2019) Para extender las restricciones mencionadas anteriormente está la posibilidad de adquirir Google Colab Pro, por un aproximado de 10 dólares se obtiene más memoria, tiempos de ejecuciones más largos y GPUs más rápidas. (Google Colab, 2021b)

Roboflow es una empresa emergente que tiene como propósito simplificar el desarrollo de construcción de modelos de visión por computador y organizar los procesos de desarrollo de robots mejorados con inteligencia artificial. (Crew Noticias Móviles, 2021) Es por lo anterior que la plataforma, basada en la nube, ayuda a sus usuarios a etiquetar imágenes, evaluar la calidad de los dataset y la preparación de lo necesario para el posterior entrenamiento. (Lin et al., 2021) Roboflow cuenta con cuatro módulos de construcción: procesamiento de datos, desarrollo algorítmico, *backtesting* y adaptación de aplicaciones, que funcionan mediante un motor de datos centralizado. Por último, la plataforma está elaborada para garantizar una implementación de bajo nivel de los diferentes procedimientos del programa y restringir la programación de alto nivel para evitar errores del usuario. (Alexandrova et al., 2015)

Data augmentation es una técnica que permite aumentar un dataset de entrenamiento para mejorar la precisión, controlar el *overfitting* y la generalización. Esta técnica nace por la necesidad de tener enormes datos de entrenamientos para que las redes neuronales convolucionales puedan generalizar o aprender con una gran cantidad de parámetros. (Gómez Sarasa & Ortega Pabón, 2020)

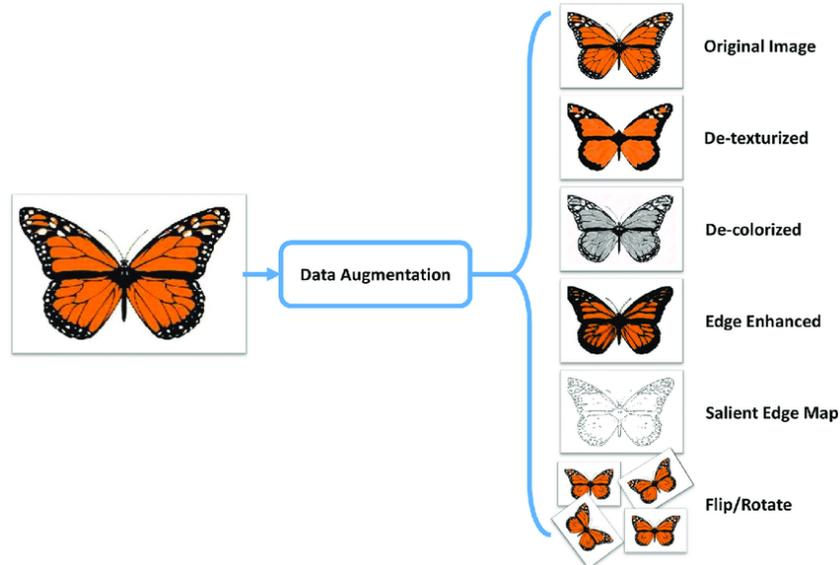


Figura 4. Ejemplo de data augmentation
Fuente: (Research Gate, 2017)

Como se puede ver en la Figura 4, existen varias formas de obtener un mayor dataset, entre las más conocidas están: la rotación, que consiste en girar las imágenes una cantidad de grados en ambos sentidos (derecha e izquierda) para ayudar a que el modelo sea más resistente a los movimientos de la cámara; el cambio de brillo, en el cual se establece un porcentaje de brillo y oscurecimiento para ayudar a que el modelo sea más resistente a los cambios de iluminación y configuración de la cámara; el difuminado consiste, como su palabra lo dice, en hacer más borrosa la imagen dando el número de píxeles que se desean ajustar para que el modelo sea más resistente al enfoque de la cámara y, para terminar, tenemos el ruido donde se colocan puntos en la pantalla para ayudar a que el modelo sea más resistente a los artefactos de la cámara, la cantidad de puntos se establecen en porcentaje. (RoboFlow, 2021)

Por último, todo el proceso mencionado anteriormente se genera de manera artificial aplicando las perturbaciones en las imágenes originales, todo el proceso que se ha mencionado es una aplicación estándar para la visión por computador. (franspg, 2020)

El procesamiento de imágenes en los últimos años ha adquirido un papel significativo en las tecnologías, hoy en día es la base de aplicaciones como diagnósticos médicos, exploración espacial, visión por computador, entre otros. El objetivo es hacer más evidentes, en las imágenes, detalles que se desean obtener y mejorar el aspecto de estas. (Dominguez Torres, 2000)

Como se mencionó anteriormente esta técnica busca mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información, es por ello que se tienen diferentes procesos como bandas en imágenes digitales, mapa de bits, imágenes vectoriales, histogramas, modificación de colores, resolución, etc.

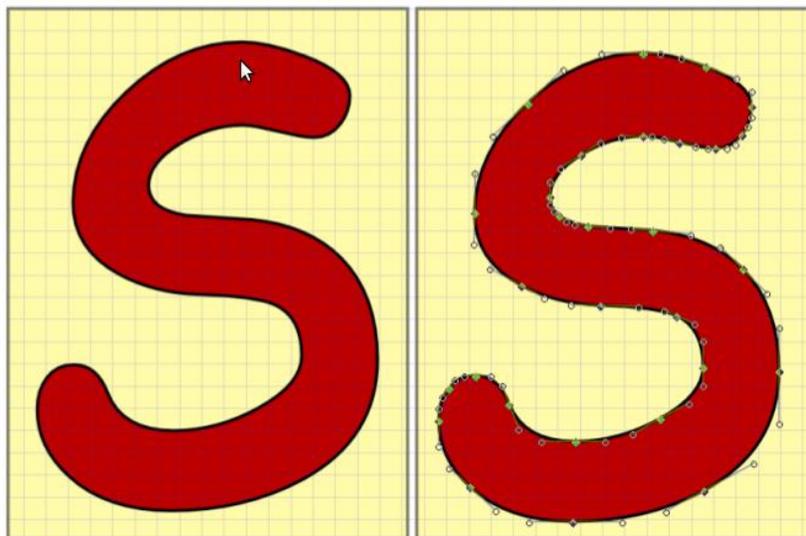


Figura 5. Imagen en representación vectorial (izquierda) y en pixelado bitmap (derecha).
Fuente: (Pérez & Valente, 2018)

En la Figura 5 se evidencia la representación digital de las imágenes vectorialmente, estas están definidas bajo ecuaciones matemáticas que conforman el contorno y/o el relleno de la imagen, gracias a esta técnica se pueden aplicar procesos como *scaling*. (Pérez & Valente, 2018)

Por otra parte, también es útil tener el histograma de una imagen, este es un vector que contiene la cantidad de píxeles dentro de la misma con un cierto valor por cada elemento, para una imagen que contiene cierta cantidad de bits, se observa la siguiente ecuación:

$$h(i) \equiv \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \delta(f(n, m) - i) \quad \forall i \in [0, 2^{\alpha} - 1]$$

Figura 6. Función de histograma
Fuente: (Pérez & Valente, 2018)

Donde M y N es el número de columnas y filas, respectivamente. Se tiene también la función de distribución $f(n, m)$ y el número de bits representado por α . (Pérez & Valente, 2018)

Deep learning, o aprendizaje profundo, es el subcampo de la inteligencia artificial que se encarga de crear modelos de redes neuronales capaces de tomar decisiones precisas y correctas basadas en datos. Este es utilizado, principalmente, en contextos en los que existe una alta complejidad y un alto volumen de datos (Kelleher, 2019). El *deep learning* es un tipo de *machine learning* que permite que los computadores puedan resolver problemas de percepción como el procesamiento de imágenes. Esta técnica utiliza múltiples capas para descubrir patrones y estructuras en conjuntos grandes de datos. (Rusk, 2015)

Las **Redes Neuronales Convolucionales**, o *Convolutional Neural Network* (CNN), son un tipo de redes neuronales artificiales creadas, originalmente, para asistir en el proceso de reconocimiento de imágenes. Estas redes imitan el comportamiento de la corteza visual cerebral al momento de procesar y reconocer imágenes. Además, estas redes están compuestas por múltiples capas de filtros convolucionales, en primer lugar, podemos encontrar las capas de entrada seguidas de las capas ocultas y, por último, las capas completamente conectadas, estas capas están evidenciadas en la Figura 7. (Carrión, 2020)

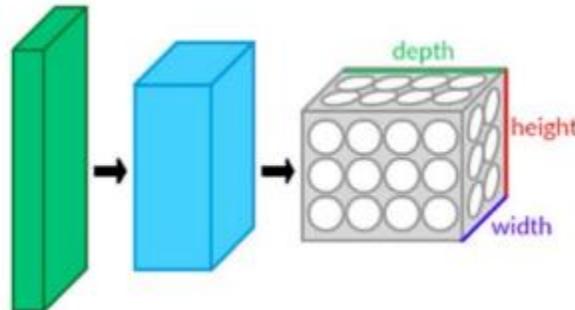


Figura 7. Visualización de una red neuronal convolucional.
Fuente: (Carrión, 2020)

La capa principal de estas redes es la convolucional, esta capa pertenece a las capas ocultas y es indispensable para que el sistema marche correctamente. El funcionamiento de una red neuronal convolucional consiste en tomar una imagen y aplicar una serie de filtros o convoluciones para generar un conjunto de mapas de características, la clave de estas redes es que esta operación se va a realizar secuencialmente llegando al momento en el que la salida, o el *output*, de una capa será la entrada, o *input*, de la siguiente. De estos mapas de características el sistema obtiene patrones e información sobre las imágenes. Finalmente, la imagen atraviesa una red neuronal multicapa que se encarga de hacer la clasificación. (Carrión, 2020)

YOLO, o *You Only Look Once*, es un sistema que utiliza de manera conjunta *deep learning*, un tipo de *machine learning*, y redes neuronales convolucionales. YOLO se destaca por las altas velocidades con las que reconoce objetos y, también, por su capacidad de detectar objetos en tiempo real en videos de hasta 30 fotogramas por segundo. El funcionamiento de YOLO puede ser dividido en tres etapas principales. El sistema, en primer lugar, divide la imagen que se desea estudiar en una cuadrícula de $S \times S$, si el centro de un objeto está ubicado en el centro de una celda esta se convierte en la responsable de la detección del mismo, esto se puede ver evidenciado en la primera imagen de la Figura 8. (Redmon et al., 2016)

Después, cada una de las celdas predice el posible número de *bounding boxes*, cajas que describen la ubicación espacial de un objeto, y se calcula el nivel de certidumbre, esto corresponde a la imagen del centro de la Figura 8. El nivel de certidumbre refleja el nivel de seguridad del modelo respecto a que la caja contiene un objeto. Seguidamente, el sistema procede a eliminar todas aquellas cajas que no cumplan con el nivel de certidumbre mínimo. Por último, el sistema atraviesa una etapa de *non-max supression* que se encarga de descartar los posibles objetos duplicados, lo anterior puede ser evidenciado en la última imagen de la Figura 8. Con este último paso se asegura que las cajas que presenten más exactitud sean las restantes. (Redmon et al., 2016)



Figura 8. Funcionamiento de YOLO.
Fuente: (Redmon et al., 2016)

4.3. Análisis del estado del arte

| Revisión de la literatura | |
|-------------------------------------|--|
| Palabras Clave | <i>Smart farming, agriculture, image analysis, google tools, cloud computing, Image Processing, sales management e inventory.</i> |
| Bases de datos Consultadas | Scopus |
| Cantidad de Referencias Recuperadas | 14 documentos recuperados |
| Fecha de Búsqueda | 10 marzo de 2021 |
| Criterios de Búsqueda | Rango de Fecha de la Búsqueda: entre 2015 y 2021. |
| | Pertinencia con el tema de investigación: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Smart farming.</i> • <i>Agriculture.</i> • <i>Image analysis</i> • <i>Image processing.</i> • <i>Cloud computing.</i> |
| | Documentos en inglés, publicados en Revistas Científicas, libros o Actas de Conferencia. |

Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

De los catorce documentos encontrados cabe resaltar que los países que más están investigando en estos temas son: India, Canadá y Estados Unidos. De la búsqueda total, India aporta cuatro documentos los cuales se centran en identificar la calidad y distribución varietal del trigo para cumplir con los requisitos de la industria alimentaria, esto se da porque el país mencionado se encuentra entre los mayores cultivadores y consumidores de granos de trigo (Lingwal et al., 2021). Por otra parte, en Canadá se está trabajando en el tema de plagas, con la ayuda de tecnología se busca aumentar la precisión y estimar una mejor cobertura de plaguicidas, lo anterior con el fin de reemplazar las metodologías de evaluación anticuadas que se usan en la actualidad (Brandoli et al., 2021). Por último, Estados Unidos está enfocando su investigación en la detección de plagas, enfermedades y el fenotipado en el campo, adicional a esto, también abordan la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ecológica en el futuro haciendo uso de la ciencia de datos y el análisis de los mismos (Sharma et al., 2020).

Síntesis de documentos:

“Internet of things in smart agriculture: applications and open challenges”: En este documento se presenta un estudio de investigación con el fin de explorar el uso de dispositivos IoT y las diversas áreas de aplicación que se utilizan en la agricultura. Los autores realizan este estudio, porque en el escenario actual el agricultor no conoce, en muchas ocasiones, el estado de la humedad del suelo y otras características relacionadas con su tierra, esto llevando a resultados no satisfactorios hacia sus cultivos. La metodología implementada por los autores fue

identificar tendencias y desafíos en las áreas de aplicación y arquitecturas para el internet de las cosas en la agroindustria, la revisión se basó en cuatro pilares: monitoreo, control, predicción y logística. (Bhatnagar et al., 2020)

“Cloud Services Platform based on Big Data Analytics and its Application in Livestock Management and Marketing”: En este artículo los autores construyen una plataforma integrada con los servicios en la nube para la gestión moderna del marketing ganadero. En ella se combinaron el comercio electrónico con el modelo de negocio tradicional, gracias a esto se puede analizar inteligentemente la información de la oferta y demanda de productos ganaderos, al tiempo que ofrece servicios de aplicación, con el fin de realizar ventas en línea de productos ganaderos junto con supermercados. El funcionamiento principal de esta plataforma se divide en dos funcionamientos principales, el primero de ellos es la combinación previamente mencionada que tiene como fin lograr las ventas en línea por medio de una tienda digital. El otro punto es la construcción de la plataforma para proporcionar servicios de externalización de aplicaciones para empresas ganaderas, incluyendo comercio electrónico, gestión de relaciones con el cliente, gestión de inventarios, etc. (Huang et al., 2015)

“A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance”: En este estudio se presenta una revisión sistemática de las aplicaciones del aprendizaje automático en las cadenas de suministros agrícolas. La sostenibilidad de los suministros agrícolas se beneficia en gran medida por las técnicas utilizadas en el aprendizaje automático, el documento presenta un marco de aplicaciones en el cual se resaltan aquellas que buscan la sostenibilidad anteriormente mencionada, en este podemos encontrar los tres algoritmos que se utilizan actualmente para este fin, los cuales son: aprendizaje supervisado, no supervisado y reforzado. La contribución del artículo es el marco de aplicaciones de desempeño ML-ASC, con él los futuros académicos y profesionales que quieran consultar el estado actual de la literatura no deberán comenzar de cero, tendrán una guía que los ayudará a entender este campo que busca la mejora constante en la agricultura, su productividad y sostenibilidad. (Sharma et al., 2020)

“Monitoring method of movement of grazing cows using cloud-based system”: En este documento se presenta un sistema que utiliza equipo IoT y plataformas en la nube para monitorizar la actividad del ganado de una granja. Los autores reconocen una necesidad de llevar a cabo dicho proyecto por la gran cantidad de operaciones manuales que hay en el sector de la ganadería, el problema radica en que estas

operaciones dependen de la perspectiva del ganadero. El sistema propuesto cuenta de una red de sensores ubicados en collares que utiliza el ganado lo que permite a los granjeros supervisar información en vivo a través de plataformas en la nube. (Park & Park, 2021)

“Smart Farming in Europe”: Este documento pretende proveer un marco de referencia comprensivo para los avances en el campo de la Agricultura Inteligente. Para ello presentan todos los esfuerzos importantes que se han hecho en el campo y enseñan y analizan los proyectos de Agricultura Inteligente más importantes y ambiciosos de Europa. Los autores quieren combatir la pérdida monetaria que implica el sobreuso de gasolina, fertilizante y pesticidas, y pretenden lograr beneficios en el campo de la agricultura aumento la calidad y la cantidad de productos. Todo esto vendrá acompañado de un estudio exhaustivo de todas las tecnologías que puedan transformar las técnicas tradicionales por soluciones innovadoras en el campo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación. (Moysiadis et al., 2021)

“Counting Livestock with Image Segmentation Neural Network”: Los autores de este documento reconocen una problemática en la industria agrícola y es la carencia de datos acerca de las operaciones que se llevan a cabo. Este artículo pretende dar solución a esta problemática a través de un sistema que utilice una red neuronal para el procesamiento de imágenes y un localizador para el ganado. Con lo anterior se espera que se pueda obtener un conteo y una posición precisa del ganado en tiempo real utilizando imágenes en escalas de grises donde la posición de los animales será destacada en círculos. (Dolezel et al., 2020)

“Image-based wheat grain classification using convolutional neural network”: En este documento se realiza un modelo de red neuronal convolucional que tiene como fin clasificar quince diferentes tipos de trigos, este se crea con el propósito de satisfacer la demanda que tiene una gran variedad y calidad específicas de cereales para diversos fines, como la producción de fideos, la producción de pan, etc. Para lograr esto se deben pasar por etapas de análisis y clasificación que, actualmente, es un proceso manual, tedioso y lento; en el documento nos muestran que hoy en día los estudios se enfocan en el aprendizaje automático, este cuenta con grandes limitaciones para seleccionar los miles de características de cada tipo de grano, por eso este estudio se enfoca en redes neuronales convolucionales obteniendo como resultado un 98% de precisión y una pérdida de 0,0846 en su modelo. (Lingwal et al., 2021)

“DropLeaf: A precision farming smartphone tool for real-time quantification of pesticide application coverage”: Este trabajo introduce una herramienta que puede estimar la cobertura de los plaguicidas con una gran precisión. La herramienta en cuestión se basa en un software que trabaja con procesamiento de imágenes para datos precisos en tiempo real. Se espera que la herramienta sea utilizada por agricultores que deseen mejorar la utilización de plaguicidas y reducir el impacto medioambiental y monetario. La aplicación cuenta con la gran ventaja de ser portable ya que está diseñada para dispositivos móviles. (Brandoli et al., 2021)

“IoT-based data management for Smart Agriculture”: En este artículo se expone un caso de estudio que busca servir como complemento para una plataforma de agricultura inteligente. Los autores nos dan a conocer que en la actualidad una poderosa herramienta para analizar el estado del cultivo en tiempo real es el desarrollo de los sistemas de información geográfica, concretamente las imágenes del satélite Copernicus Sentinel-2. Adicional al caso de estudio se revisaron las principales fuentes de datos en el contexto de la agricultura de precisión, esta ha evolucionado en los últimos años gracias a las nuevas herramientas tecnológicas que han salido, entre ellas, la computación en la nube. Ellos plantean que el plano en la nube sirve como interfaz entre los usuarios y la plataforma principal y es aquí donde se mantiene el estado actual de los parámetros de recorte y configuración. (Martnez et al., 2020)

“WALLeSMART: Cloud Platform for Smart Farming”: Los autores nos proponen un marco cuya arquitectura aborda la adquisición, el procesamiento y la visualización de cantidades masivas de datos. Este tiene como propósito capitalizar los esfuerzos invertidos en la construcción de sistemas inteligentes de gestión agrícola. En el documento nos explican el front-end y el back-end utilizado; adicional a esto las arquitecturas que se implementan en el mismo, nos exponen los diferentes roles que un usuario puede adquirir, estos son: administrador, agricultores e investigadores. (Roukh et al., 2020)

“Agroview: Cloud-based application to process, analyze and visualize UAV-collected data for precision agriculture applications utilizing artificial intelligence”: Actualmente, la detección de plagas y enfermedades y la tipificación de fenotipos de campo es un proceso manual y tedioso que genera mucho tiempo y trabajo. El documento desarrolló una aplicación basada en la computación en la nube y la inteligencia artificial para simplificar el proceso de topografía, obteniendo como resultado una disminución del tiempo de recolección de datos y reducción del costo. Todo el proceso se realiza mediante los UAV que, equipados con sensores,

simplifican lo mencionado anteriormente, los resultados obtenidos son interesantes, como es el error de 2.29% en la detección de árboles individuales tomando como referencia las imágenes del UAV. (Ampatzidis et al., 2020)

“Evaluating the temporal accuracy of grassland to cropland change detection using multitemporal image analysis”: Los autores de este artículo proponen las praderas como sumideros de carbonos con un papel muy importante en la tarea de mitigar el cambio climático y por esto surge la gran preocupación de perder estas praderas. En los últimos años se ha evidenciado el reemplazo de estos ecosistemas por sistemas de agricultura y esto puede resultar en la pérdida de estos sumideros de carbono. El estudio que se presenta en este artículo fue hecho con el propósito de detectar la transformación de las praderas en Canadá. Este estudio demostró que mediante el análisis de imágenes multitemporal se pueden detectar dichos cambios en el campo canadiense. (Mardian et al., 2021)

“Automatic adjustment of harrowing intensity in cereals using digital image analysis”: En este artículo se presenta un experimento en el cual se implementan tecnologías de agricultura de precisión para aumentar el control de malezas en cultivos de cereales. A través del análisis de imágenes digitales se decidían factores como la intensidad de una grada, el número de pasadas y el ángulo de los dientes. El uso de cámaras digitales y del análisis de imágenes les permitió evaluar la eficacia del control de malezas y la velocidad de la recuperación de la cosecha. Los autores esperan que este método ayude a los agricultores a hacer mejor uso de sus gradas. (Gerhards et al., 2021)

“Crop Condition Analyzer Robot with Image Processing Feedback to Assist Farmer”: Los autores del artículo realizan un prototipo pensado para ayudar al agricultor a descubrir enfermedades en su cultivo. El prototipo se diseñó con dos características principales. La primera de ellas es el movimiento y la segunda es el análisis con procesamiento de imágenes y datos en tiempo real. El robot debe tomar decisiones que determinarán su movimiento basándose en gamas de colores específicas. Además, el robot se encargará de determinar la temperatura y humedad del ambiente mientras analiza el estado de la hoja. Este prototipo fue desarrollado con la intención de ayudar al agricultor a determinar enfermedades en un menor tiempo y mejorar el proceso de toma de decisiones para los cultivos. (Rafi et al., 2021)

En la Tabla 1, es presentada información relevante sobre alguno de los documentos estudiados.

Tabla 1. Análisis de documentos recuperados

| Título | Tipo | Objetivo | Tecnologías / Protocolos | Dispositivos |
|------------------------|---|--|---|---|
| (Sharma et al., 2020) | Artículo | Presenta un marco de aplicaciones en el cual se resaltan aquellas que buscan la sostenibilidad de los suministros agrícolas. | <i>Bayesian network, Decision tree, Ensemble learning, Regression Analysis, Support Vector Machine (SVM), Artificial Neural Networks (ANN).</i> | N.A. |
| (Park & Park, 2021) | Artículo | Desarrollar un sistema que utiliza equipo IoT y plataformas en la nube para monitorizar la actividad del ganado de una granja. | <i>WIFI, WSN, 3G</i> | <i>MSP430F2274 MCU, CC2500 (Wireless receiver), eZ430-RF2500.</i> |
| (Lingwal et al., 2021) | Artículo | Realizar un modelo de red neuronal convolucional que tiene como fin clasificar quince diferentes tipos de trigos. | <i>Keras, Python 3.7, red neuronal convolucional,</i> | <i>Nvidia GPU processor</i> |
| (Roukh et al., 2020) | Documento de conferencia (Conference Paper) | Proponer un marco cuya arquitectura aborda la adquisición, el procesamiento y la visualización de cantidades masivas de datos. | <i>WIFI,3G/4G, EMQ X, XML, JSON, XLS, Node.js, GraphQL.</i> | <i>SmartVel sensors</i> |
| (Martnez et al., 2020) | Documento de conferencia (Conference Paper) | Desarrollar una herramienta para analizar el estado del cultivo en tiempo real. | <i>NIR (Near Infrared), SWIR (Short Wavelength Infrared)</i> | <i>Copernicus Sentinel-2 satellite</i> |

| Título | Tipo | Objetivo | Tecnologías / Protocolos | Dispositivos |
|---------------------------|----------|--|---|---|
| (Ampatzidis et al., 2020) | Artículo | Desarrollar una aplicación basada en la computación en la nube y la inteligencia artificial para simplificar el proceso de topografía, obteniendo como resultado una disminución del tiempo de recolección de datos y reducción del costo. | Amazon Web Services (AWS), Lenguaje de programación C, Ubuntu | UAVs (Matrice 210 and Phantom 4 Pro+, DJI, Shenzhen, China), c5.9xlarge (CPU), p3.2xlarge (GPU) |

Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

4.4. Marco legal

En la agenda de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para el 2030 se proponen objetivos relacionados con el crecimiento, la inclusividad, la sostenibilidad ambiental, la innovación y las asociaciones de las TIC a nivel global. Estos con el fin de conectar el mundo mediante los avances tecnológicos que serán de apoyo para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2020). Los siguientes objetivos son aquellas normas o recomendaciones relacionadas con el desarrollo del proyecto:

1. Crecimiento: posibilitar y fomentar el acceso y un mayor uso de las telecomunicaciones / TIC en apoyo de la economía y la sociedad digitales.
2. Inclusividad: cerrar la brecha digital y brindar acceso de banda ancha para todos.
3. Innovación: Permitir la innovación en telecomunicaciones / TIC en apoyo de la transformación digital de la sociedad.

Por otra parte, los Objetivos de Desarrollo Sostenible también establecen recomendaciones, estas tienen como fin erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos (Naciones Unidas, 2015).

1. “Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos” (Naciones Unidas, 2015).
2. “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación” (Naciones Unidas, 2015).
3. “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles” (Naciones Unidas, 2015).

5. METODOLOGÍA

Dada la gran variedad de metodologías ágiles para el desarrollo de software, se hicieron algunas comparaciones tomando como criterio las ventajas y desventajas, para llegar a una conclusión y seleccionar la que mejor se aplica al proyecto. Las metodologías ágiles tienen como fin ejecutar proyectos de forma autónoma, eficaz y flexible teniendo como objetivo reducir costos e incrementar la productividad (Maldonado, 2019).

Las metodologías más utilizadas son: Extreme Programming, SCRUM y Kanban, de estas se realizó una investigación que nos hizo entender más a profundidad el funcionamiento de cada una. Como balance global tenemos que estas metodologías influyen en el trabajo colaborativo, este se implementa mediante roles que permiten una mejor organización durante la ejecución del proyecto, por otra parte, mejora la calidad del producto y la satisfacción del cliente. El cliente al estar involucrado en el desarrollo (mediante entregas o demostraciones de software) tiene un mayor agrado hacia el proyecto (Rosselló Villán, 2019).

En las partes negativas de las metodologías mencionadas, se puede observar que todas tienen una dependencia del líder del proyecto durante la ejecución, por otra parte, el equipo de trabajo debe tener capacidades y habilidades sólidas en los entornos donde se está trabajando (SCIO, 2019). Al buscar la satisfacción del cliente, en ocasiones, se requiere bastante tiempo que algunos no pueden tener y, por último, se debe tener muy presente la documentación en todo momento para que no surjan dificultades al momento de la entrega (EBF, 2019).

Finalmente, para el desarrollo del proyecto de Trabajo de Grado se implementará la Metodología de Prototipado Rápido. El tamaño reducido del equipo de trabajo y los recursos limitados son algunas características por las cuales se está utilizando esta metodología. Además, esta permite involucrar al usuario final a través del diseño colaborativo y el desarrollo del proyecto, esto con el fin de obtener retroalimentación constante que genere iteraciones para mejorar el prototipo (Dapena et al., 2010).

Adicionalmente, se definieron cuatro etapas principales, relacionadas estrechamente con los objetivos específicos del proyecto. A continuación, son presentadas las actividades asociadas con cada una de las etapas.

5.1. Descripción de la metodología

Etapas 1: Caracterizar los elementos y componentes asociados a un prototipo de Smart Farming para el cultivo del limón Tahití que incorpore elementos de computación en la nube e inteligencia artificial (Entregable: Informe que sintetice documentos hallados en la literatura). Las actividades que serán realizadas se presentan a continuación:

1. Recopilación de documentos en base de datos académicas.
2. Revisión de los elementos y componentes asociados a un prototipo de Smart Farming.
3. Extracción de las diferentes referencias, tecnologías, protocolos y dispositivos asociados a un prototipo de Smart Farming.
4. Desarrollo del estado del arte.

Etapa 2: Diseñar los diferentes componentes y módulos del software mediante un diseño colaborativo (Entregables: Informe de ingeniería de software y un borrador de interfaces). Las actividades que serán realizadas se presentan a continuación:

5. Definición de los módulos que tendrá el software.
6. Elaboración de la documentación relacionada con el proceso de desarrollo de software.
7. Desarrollo de un bosquejo (mockup) de las interfaces.
8. Recopilación de las opiniones de los agricultores sobre los bosquejos.

Etapa 3: Construir un prototipo de sistema Smart Farming que incorpore computación en la nube y técnicas de visión por computador (Entregable: Versión de prueba del prototipo). Las actividades que serán realizadas se presentan a continuación:

9. Selección de los entornos a utilizar en la aplicación.
10. Realización de las interfaces.
11. Entrenamiento de la red neuronal.
12. Desarrollo del back-end.
13. Conexión de los componentes de la aplicación.

Etapa 4: Verificar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de software en un ambiente controlado (Entregable: Documentación de los resultados obtenidos y versión final del prototipo).

Las actividades que serán realizadas se presentan a continuación:

14. Evaluación de la eficiencia de la red neuronal.
15. Entrega de una versión de prueba y obtener retroalimentación.
16. Correcciones iterativas de la herramienta hasta su versión final.

6. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE APRENDIZAJE

En el presente capítulo se mostrará el proceso de adquisición de datos y su implementación para el entrenamiento de la inteligencia artificial. Después de adquirir los datos se hace una selección y preparación de estos, que serán utilizados para el posterior entrenamiento que tiene como finalidad detectar bultos de limón Tahití mediante una fotografía.

6.1. Adquisición de datos

Para obtener el dataset necesario para entrenar el modelo de aprendizaje, se realizaron búsquedas intensivas en las plataformas más destacadas como *Kaggle*, *GitHub*, *Google Research Datasets*, sin obtener ningún resultado contundente. Dado lo anterior, se decidió construir un dataset propio, para ello se hizo una salida de campo a una empresa que se centra en la exportación de productos alimenticios, entre ellos, el Limón Tahití.

Una vez acordada la cita se procede a discutir con el grupo de trabajo y se definen los siguientes requerimientos: las fotografías debían ser tomadas en diferentes ambientes, todas debían estar en la misma orientación, buscar diferentes iluminaciones y obtener un mínimo de 200 fotos, finalmente, se tomaron las fotografías con los dispositivos móviles de los autores cuyas características se mostrarán en la siguiente tabla:

| Dispositivo | Resolución de la cámara trasera (Mpx) | Resolución de la fotografía (px) | Apertura focal | Cantidad de fotos tomadas |
|---------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------|---------------------------|
| OnePlus 6 | 16 + 20 | 3456 x 4608 | 1.7 | 180 |
| Moto G7 Plus | 16 + 5 | 1546 x 3264 | 1.7 | 160 |

Tabla 2. Especificaciones de los dispositivos móviles
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Para la toma de las fotografías se realizó una salida al municipio de Lebrija, Santander, el día 18 de agosto del 2021 a las 9:00 a.m. a la empresa C.I Gramaluz S.C.A. La logística de la visita fue discutida con el ingeniero Guillermo Ramírez, uno de los dueños de la empresa quien, después de un recorrido por las instalaciones, nos mostró la zona de carga de los bultos de limón Tahití. Una vez allí, se da inicio a la toma de fotografías, inicialmente se dejaron los bultos en la misma zona y posteriormente se desplazaron por el lugar, para cambiar sus condiciones de ambiente y de luminosidad. En las imágenes varían el número de bultos y la posición de estos para conseguir una mayor variedad en las fotografías, y de esa manera,

enriquecer el dataset. A continuación, se mostrarán algunos ejemplos de las fotografías tomadas:



Figura 9. Ejemplo de las fotografías tomadas
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



Figura 10. Ejemplo de las fotografías tomadas
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Por último, la jornada terminó alrededor de la 1:00 p.m. con un total de 340 fotografías.

6.2. Limpieza y etiquetado

Una vez terminada la etapa de adquisición, se montaron todas las imágenes adquiridas a Google Drive, aquí se hace una limpieza del dataset, revisando imagen por imagen para determinar cuáles cumplen con el objetivo y cuáles se debían desechar. Como resultado de ese primer proceso se eliminaron un total de 40 imágenes dejando, finalmente, 300 imágenes para el entrenamiento.

Para el etiquetado se analizaron diferentes herramientas y como resultado se obtuvo que lo mejor sería realizarlo con la plataforma Roboflow, dado que la interfaz es sencilla, gratuita, permite trabajar con dataset grandes, tiene un control de versiones, cuentan con documentación y tutoriales para llevar a cabo el entrenamiento, entre otros. Además, Roboflow ofrece un paso de preprocesamiento en el cual auto orienta las imágenes y cambia el tamaño de estas. En este proceso, se buscó que las imágenes tuvieran la mayor cantidad de etiquetas. Dado que en este proyecto solo se trabaja con una clase, se decidió llamarla: Bulto.

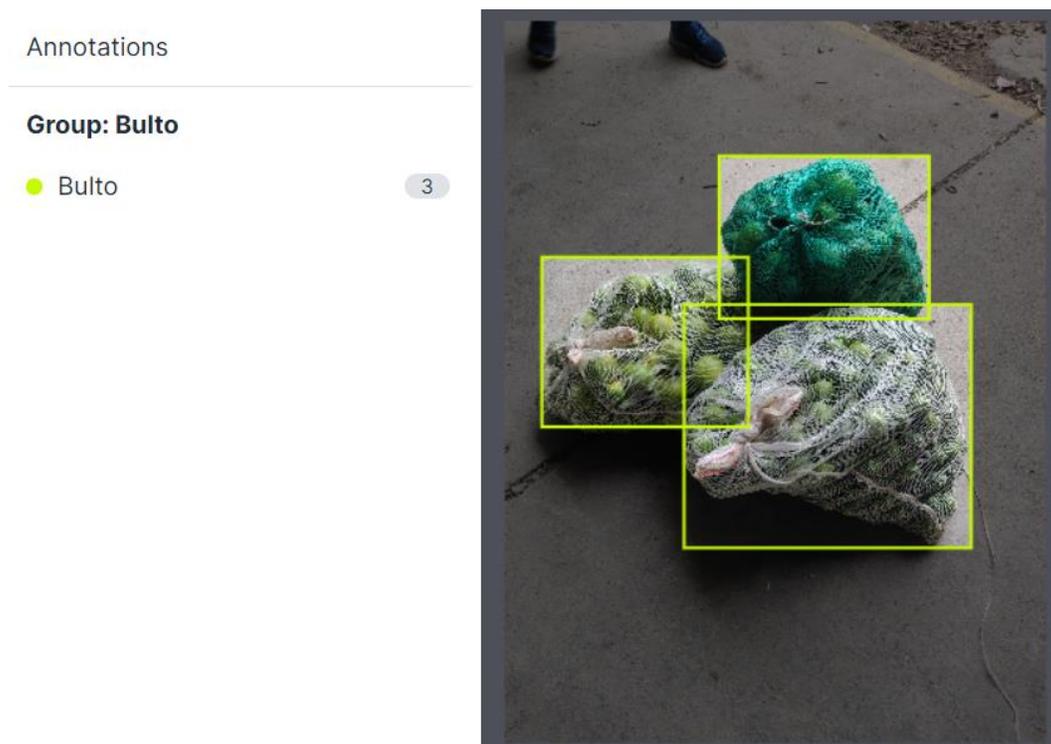


Figura 11. Ejemplo etiquetado de imágenes
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Durante todo el proceso, las etiquetas debían estar ajustadas a los bultos para eliminar el mayor ruido posible, también se tuvo en cuenta la superposición, es por eso que algunas fotografías tienen un bulto sobre otro, como se puede ver en la Figura 11.

Finalmente, etiquetadas todas las imágenes, se determinaron los porcentajes que se iban a dividir entre: entrenamiento, pruebas y validación. Los archivos generados con Roboflow son las imágenes originales junto con un archivo .txt que incluye información como la posición de cada recuadro, cantidad de bultos, entre otros.

6.3. Data augmentation

Después de la fase de limpieza y etiquetado, se busca incrementar el número de imágenes del dataset con el fin de obtener un conjunto de entrenamiento de mayor tamaño. Para lograrlo se utiliza data augmentation en la herramienta Roboflow. En esta, se pueden encontrar distintas opciones para aumentar significativamente el número de imágenes, algunas de ellas son:

El **ruido**, donde por medio de un porcentaje asignado por nosotros se ponen puntos aleatoriamente dando una sensación de ruido en la imagen original.



Figura 12. Ejemplo de data augmentation
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

En el **difuminado**, mediante un grado de pixeles, se busca hacer más borrosa la fotografía para simular el desenfoque de la cámara.

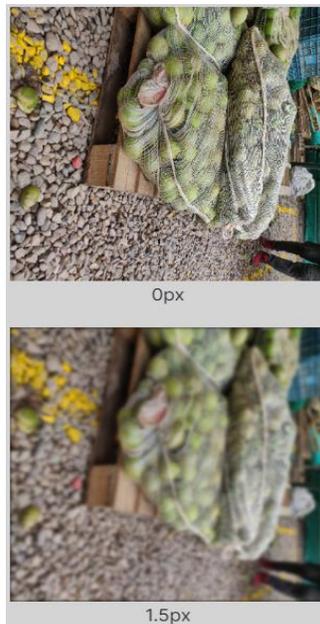


Figura 13. Ejemplo de data augmentation
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Otra técnica implementada fue **cutout**, donde se colocan cuadros negros asignados aleatoriamente en medio de la imagen para dar la sensación de cortes.



Figura 14. Ejemplo de data augmentation
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Finalmente, tenemos la **luminosidad** que se encarga de ajustar, por medio de un porcentaje, el incremento o decremento de brillo en la imagen original.



Figura 15. Ejemplo de data augmentation
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Para los entrenamientos se generaron distintas versiones con diferentes técnicas de *data augmentation*, la versión implementada en la aplicación cuenta con 725 imágenes utilizando ocho grados de rotación, 20% de cambio en la luminosidad, 0.75px de desenfoque, 4% de ruido, 12 cajas que cortan la imagen original e imágenes en mosaico.

Como se especificó anteriormente, el dataset fue creado por los autores dado que no se encontró ninguno que se acomodara a las necesidades del proyecto, es por eso por lo que se decidió crear un repositorio público con el dataset implementado en el modelo de aprendizaje. Dicho repositorio cuenta con un total de 725 imágenes, distribuidas en 3 carpetas. La primera de ellas es *train* donde se encuentra un 90% de las imágenes, seguidamente la carpeta *valid* con un 5% y, finalmente, *test* con otro 5%. Cabe resaltar que cada carpeta cuenta con las imágenes preprocesadas (tamaño: 416x416 y orientada a un solo sentido) y su respectivo .txt donde se encuentra la ubicación, la cantidad de bultos, entre otros factores. Cabe resaltar que el formato establecido para el dataset es el de YOLO Darknet, el mismo que se estableció en la aplicación. Dicho repositorio se puede encontrar en el siguiente enlace: <https://github.com/AgrimonApp/Dataset-Limon-Tahiti.git>

6.4. Modelo de aprendizaje implementado

Como ya se ha explicado anteriormente, la detección de objetos unifica un grupo de tareas que se relacionan con la visión por computador, este grupo se divide en 3: clasificación, localización y detección de objetos. La primera, se encarga de predecir que objeto hay en una imagen; la segunda, como su nombre indica, localiza un objeto dentro de una imagen, marcándolo con un recuadro, finalmente la detección de objetos se encarga de mostrar el cuadro de ubicación y añadir una etiqueta al objeto. (Brownlee, 2019)

Cabe resaltar que la manera de calificar el rendimiento de un modelo se puede hacer de muchas maneras, una de ellas es el error de clasificación medio, para un modelo que localiza y etiqueta el objeto, se evalúa la precisión y recuperación de cada uno de los objetos delimitadores. (Brownlee, 2019)

En este orden de ideas, dos de los mejores modelos para la localización y detección de objetos son los R-CNN y YOLO. A continuación, daremos una explicación de cada uno de ellos. (Brownlee, 2019)

R-CNN, o red neuronal convolucional basada en regiones, fue de las primeras aplicaciones que aplicó las redes convolucionales a los problemas de localización y detección de objetos. Este enfoque se divide en tres módulos, descritos a continuación: (Brownlee, 2019)

- Propuesta de región: En esta, se generan algunas regiones independientes que se clasifican como “propuesta”, dando como resultados, cuadros delimitadores que son candidatos.
- Extractor de región: De cada propuesta o candidatos se extraen sus características por medio de una red neuronal convolucional
- Clasificador: Las características de cada región por un modelo de clasificador lineal para dar una solución al problema.

Este tipo de modelos son directos y simples, su desventaja radica en la lentitud y demora al momento de clasificar, sobre todo porque en muchas ocasiones la cantidad de regiones candidatas es muy grande. Cabe resaltar, que han seguido trabajando para mejorar este problema, generando versiones como Fast R-CNN y Faster R-CNN. (Brownlee, 2019)

Por otra parte, tenemos a YOLO que también puede ser dividido en tres etapas:

- Inicialmente, el sistema, divide la imagen que se desea estudiar en una cuadrícula de $S \times S$.
- Cada una de las celdas predice el posible número de *bounding boxes*, cajas que describen la ubicación espacial de un objeto, y se calcula el nivel de certidumbre.

- Por último, el sistema atraviesa una etapa de “non-max supression” que se encarga de descartar los posibles objetos duplicados.

YOLO, a diferencia de la familia R-CNN, es más rápido y estable, lo anterior gracias a que permite que los pequeños cambios no tengan un gran efecto en las predicciones (Redmon et al., 2016). Por su parte, YOLO también ha estado mejorando sus versiones, este grupo cuenta con YOLO, YOLO9000, YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5.

Teniendo en cuenta todo lo anterior y, adicionalmente, el análisis del estado del arte donde también se pudieron evidenciar las tendencias respecto a las redes neuronales para la detección de objetos, se tomó la decisión de trabajar con YOLO, dado que sus características y ventajas se acoplan mejor a las funcionalidades que se buscan dentro del proyecto.

Un criterio que también se tuvo en cuenta, es la facilidad con la cual se pueden implementar en Android Studio, dada la investigación realizada, se cuentan con repositorios muy bien estructurados para la utilización de YOLO en dispositivos móviles. Finalmente, para escoger cual versión de YOLOv4 trabajar se compraron las versiones que se mencionaron anteriormente, para buscar la mejor opción entre todas.

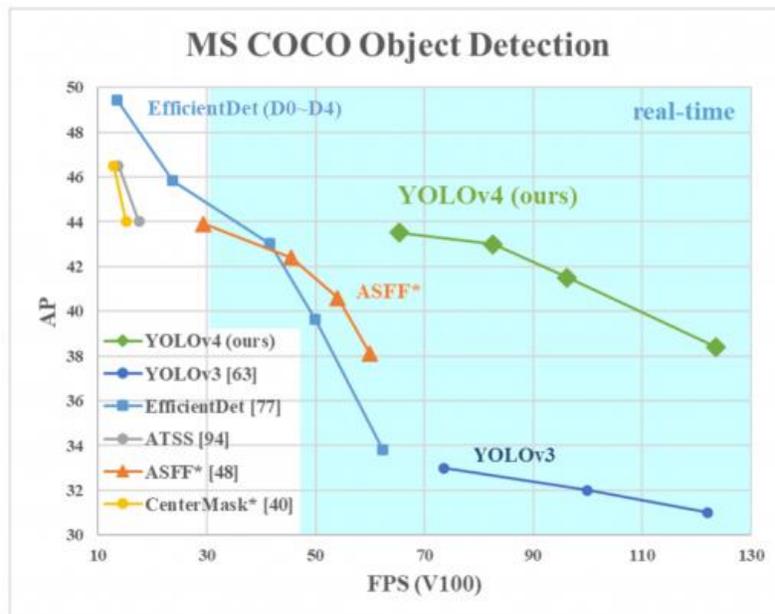


Figura 16. Comparación de YOLO
Fuente: (Supeshala, 2020)

En la Figura 16, se puede evidenciar que la mejor opción entre las versiones son YOLOv4, donde se trabaja con el dataset ofrecido por COCO y sus correspondientes FPS, evidenciando un mejor mAP.

Finalmente, cabe resaltar que esta decisión se toma teniendo presente la comparación previa y la experiencia evidenciada en proyectos realizados en el semillero de Telemática del GTI-UNAB, donde se han trabajado con versiones diferentes de YOLO.

6.5. Entrenamiento

Teniendo en cuenta todo el proceso presentado anteriormente, se inicia la fase de entrenamiento. Esta se realiza en la plataforma Google Colab Pro, inicialmente se buscaron diferentes *notebooks* que tuvieran el código necesario para realizar todo el proceso, después de mirar algunos de ellos, se decide hacer uso del *notebook* ofrecido directamente por Roboflow.

Antes de comenzar con los diferentes entrenamientos, se deben configurar algunos parámetros, el primero de ellos es el entorno de ejecución, Google Colab Pro ofrece diversas GPU y para este caso en particular hacemos uso de una de ellas, la Tesla P100 de NVIDIA. Posteriormente, se configura el archivo *make*, gracias al *notebook* utilizado ya se tiene toda la configuración del archivo hecha, por consiguiente es necesario ejecutar la siguiente secuencia de comandos:

```
#install environment from the Makefile
#note if you are on Colab Pro this works on a P100 GPU
#if you are on Colab free, you may need to change the Makefile for the K80 GPU
#this goes for any GPU, you need to change the Makefile to inform darknet which GPU you are running on.
#note the Makefile above should work for you, if you need to tweak, try the below
%cd /content/darknet/
!sed -i 's/OPENCV=0/OPENCV=1/g' Makefile
!sed -i 's/GPU=0/GPU=1/g' Makefile
!sed -i 's/CUDNN=0/CUDNN=1/g' Makefile
!sed -i "s/ARCH= -gencode arch=compute_60,code=sm_60/ARCH= ${ARCH_VALUE}/g" Makefile
!make
```

Figura 17. Configuración del archivo Makefile
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Una vez escrito el archivo *make*, se descargan los pesos preentrenados de YOLOv4, lo cual disminuye el tiempo de entrenamiento y es más eficiente que empezar con pesos aleatorios. Para la descarga de dichos pesos se utilizó el repositorio de AlexeyAB (AlexeyAB, 2020), donde el archivo principal es *yolov4-conv.29*.

Posteriormente, se cargó el dataset proveniente de Roboflow, como ya se mencionó anteriormente el *notebook* fue creado por ellos, por ende, esta parte se hace de manera automática con la siguiente ejecución:

```
!pip install roboflow

from roboflow import Roboflow
rf = Roboflow(api_key="Lu [REDACTED] ")
project = rf.workspace().project("pruebas-sgoz3")
dataset = project.version(1).download("darknet")
```

Figura 18. Importación del dataset
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Cabe resaltar que manualmente se debe configurar el `api_key` proporcionado por Roboflow, indicar cual proyecto queremos y su versión. Por último, se indica que tipo de versión descargar, en este caso es *darknet* que hace referencia al modelo YOLO. Una vez ejecutada la secuencia de comandos, se descarga en el Colab una carpeta donde vienen divididas las tres categorías (train 80%, valid 10%, test 10%) necesarias para el entrenamiento.

Luego de la descarga del dataset, se configuran los directorios necesarios en el archivo *darknet*, algunos de estos son las ubicaciones de las carpetas, el archivo con los `obj.names` que contiene los nombres de las clases, este paso es muy importante dado que inicialmente, como se descargaron pesos preentrenados dicho archivo viene con las 80 clases que YOLO es capaz de detectar, por ende, hace falta cambiar ese archivo con la clase "Bulto".

Seguidamente, se hace la configuración de la red neuronal, este es el paso más importante ya que son los valores que se van a tomar al momento del entrenamiento. En este proceso se utilizó la construcción dinámica del *notebook*, en esta se establecen y se escriben algunos atributos como:

- `batch`: Corresponde al número de imágenes que se procesan por cada lote, se asignó un valor de 64.
- `subdivisions`: Número de divisiones, se recomienda un valor de 12 para que la GPU pueda ir más rápido, se asignó un valor de 24.
- `width` y `height`: Es el ancho y alto, respectivamente, de la imagen que entra a la red neuronal, se asignó un valor de 416 a cada una.
- `max_batches`: Darknet trabaja con *batch* en lugar de épocas, este valor afecta el tiempo del entrenamiento, dado que un valor alto hace que se demore mucho más la red neuronal, es por ello, que se recomienda que el número máximo sea el número de clases por 2000 *batches*, se asignó un valor diferente por cada entrenamiento.
- `mask`: Las máscaras es un parámetro de suma importancia para la configuración del modelo, para este caso se dejaron las que venían por defecto.

Finalmente, configurado todo lo anterior se procede a la ejecución del entrenamiento, para ello se ejecuta la siguiente línea de comando:

```
!./darknet detector train data/obj.data cfg/custom-yolov4-detector.cfg yolov4.conv.137 -dont_show -map
#If you get CUDA out of memory adjust subdivisions above!
#adjust max batches down for shorter training above
```

Figura 19. Ejecución del entrenamiento
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Una vez terminado el entrenamiento, se realizan cuatro modelos modificando el dataset y algunos valores de la configuración de la red neuronal, lo que se puede evidenciar en la siguiente tabla:

| Entrenamiento | Data augmentation | mAP (Mean Average Precision) | max_batches |
|---------------|---|------------------------------|-------------|
| 1 | No | 72.6% | 2000 |
| 2 | Rotación Difuminación Ruido | 77.7% | 5000 |
| 3 | No | 81.4% | 5000 |
| 4 | Rotación Luminosidad Difuminación Ruido Mosaico Cutout | 86.3% | 5000 |

Tabla 3. Entrenamientos de los modelos de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

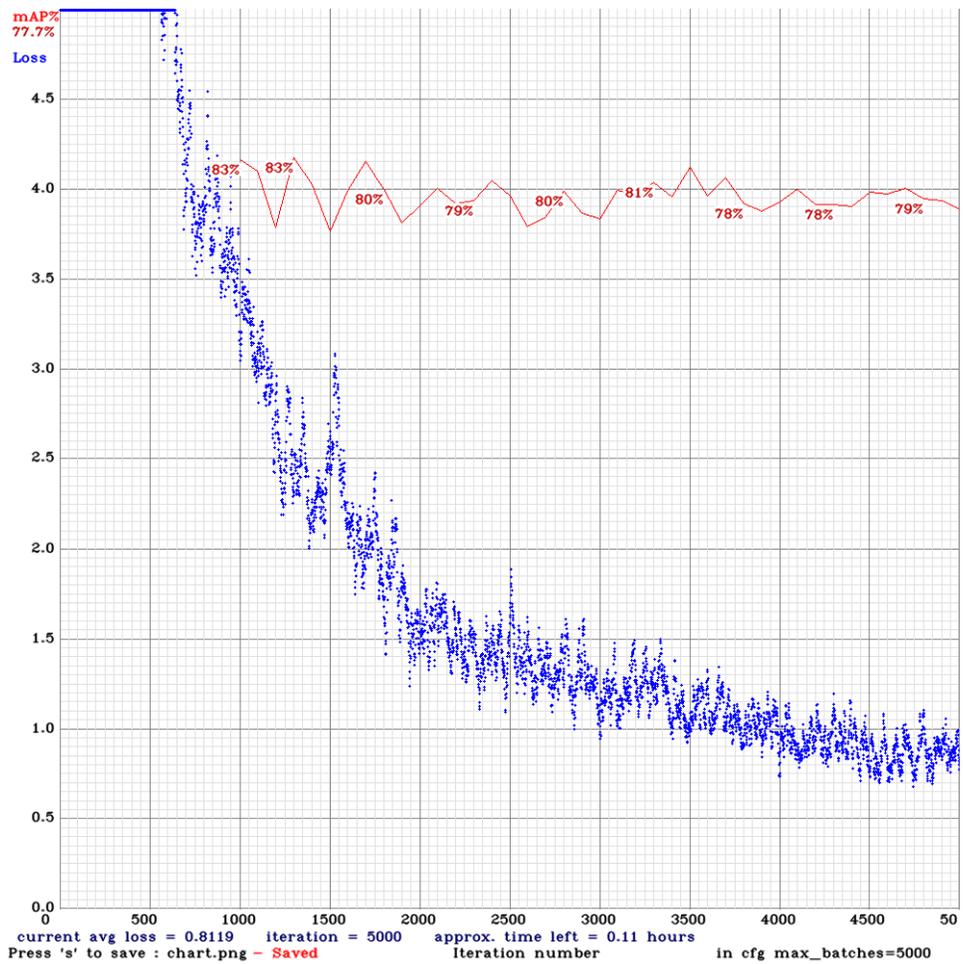


Figura 20. Resultado del entrenamiento 1
 Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

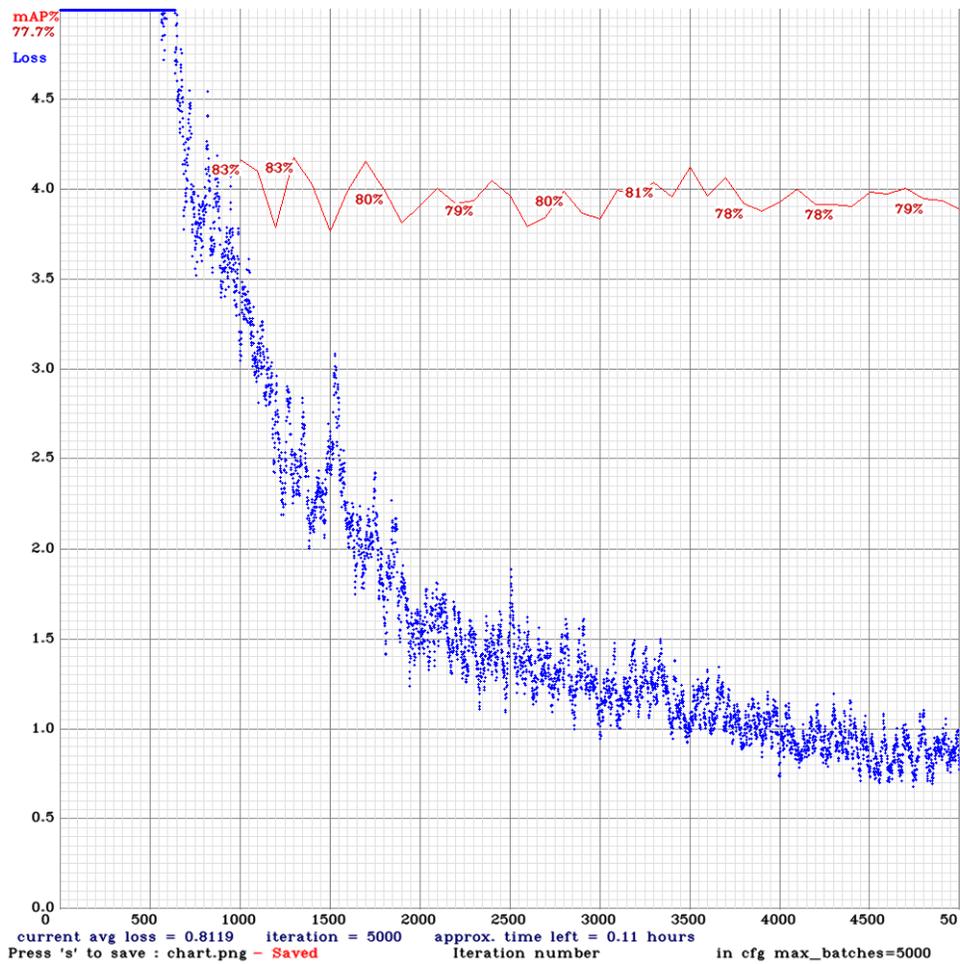


Figura 21. Resultado del entrenamiento 2
 Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

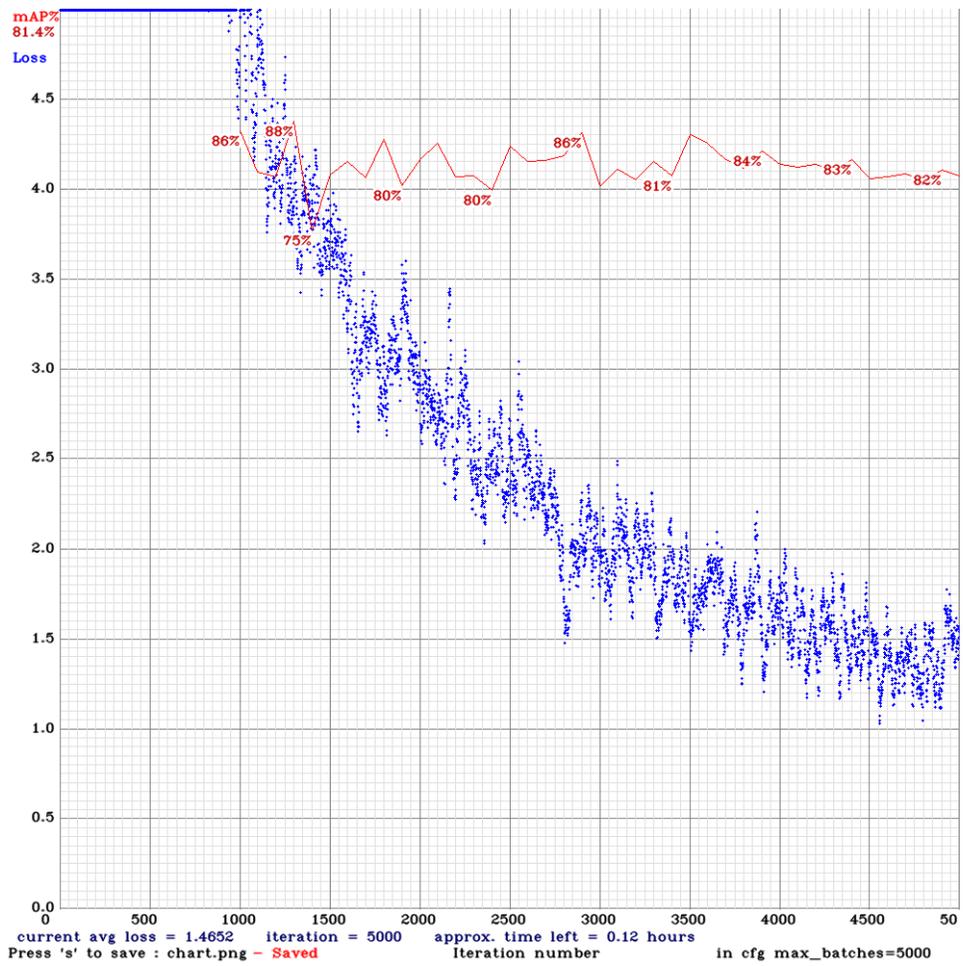


Figura 22. Resultado del entrenamiento 3
 Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

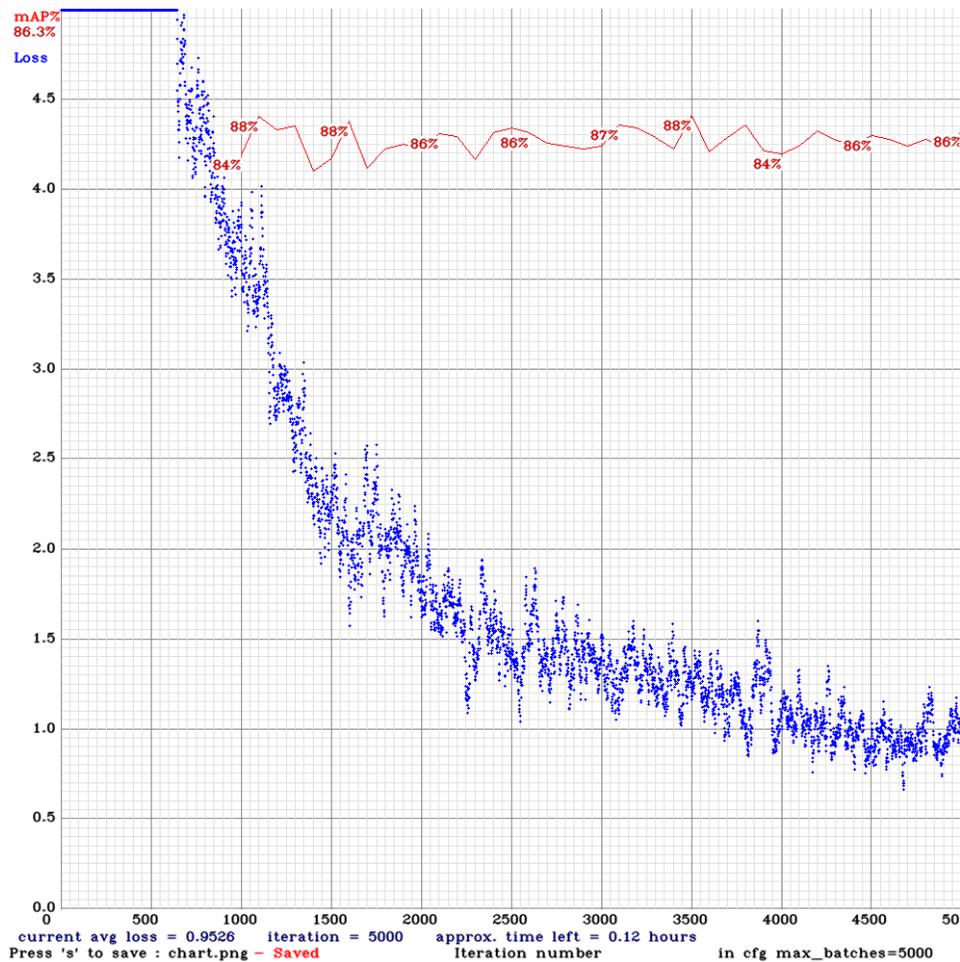


Figura 23. Resultado del entrenamiento 4
 Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Como resultado de los entrenamientos realizados y después de analizar todos los modelos, se seleccionó como mejor entrenamiento el número 4, esto teniendo en cuenta que el mAP es de 86.3% y su gráfica de perdidas da a entender que no sufrió sobreentrenamiento.

6.6. Conversión del modelo

Para terminar este proceso, se realizó la conversión del archivo .weights generado de cada entrenamiento, como se mencionó anteriormente, el modelo implementado dentro del aplicativo fue el originado en el entrenamiento número 4. Pero, para poder montar el archivo al dispositivo móvil, hace falta la conversión a .tflite, por ello se crea otro Google Colab con el código necesario para dicha transformación.

En este nuevo notebook se implementa el repositorio de *hunglcoo7* (Hunglcoo7, 2020), que aparte de darnos el código para realizar la conversión, nos facilita la implementación del modelo con Android Studio. Durante el proceso, el archivo .weights pasa por distintas fases, entre ellas el paso del archivo a .pb y posteriormente a .tflite.

Finalmente, el nuevo archivo generado se debe implementar en la aplicación, esto se hace modificando la carpeta *assets* y algunas líneas de código indicando la versión utilizada para el modelo.

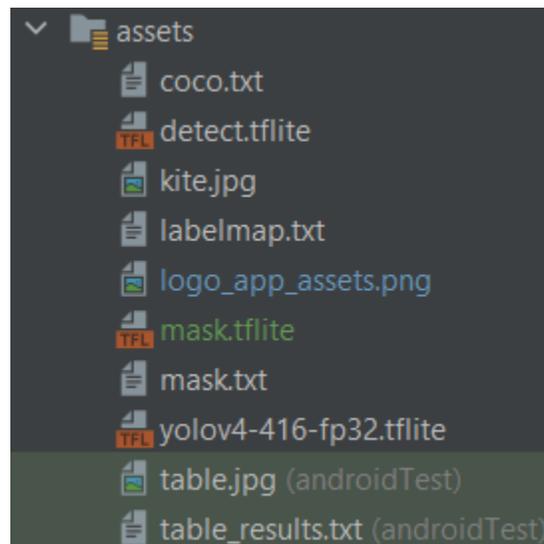


Figura 24. Configuración del directorio *assets*
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

7. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROTOTIPO

En este capítulo se presentará todo lo relacionado con la arquitectura de software que tiene el prototipo de aplicación móvil, en este se presentan los requerimientos funcionales y no funcionales y los diagramas de casos de uso, entidad relación, clases, componentes.

7.1. Requerimientos

Para la toma de requerimientos se hizo uso de entrevistas, estas tenían como finalidad tener claro que quería nuestro usuario final. Las entrevistas se hicieron a campesinos, pero dada la pandemia causada por el Covid-19 no se pudieron entrevistar a una cantidad considerable de personas, por ello se realizaron charlas con nuestro director para establecer los diferentes módulos que podía tener la aplicación. Al final del análisis, se obtuvieron los siguientes requerimientos:

7.1.1. Funcionales

- **Cargar fotografías:** La aplicación permitirá subir imágenes de la galería del usuario o podrá tomar una fotografía mediante las cámaras del dispositivo.
- **Estimar la cantidad de bultos:** Mediante la imagen subida por el usuario, la aplicación detectará mediante el proceso de clasificación y localización cuantos bultos de Limón Tahití están presentes en dicha imagen. Como resultado, se le mostrará al usuario la imagen previamente subida marcada, mediante cuadros de color rojo, con los bultos detectados.
- **Guardar la información de la detección:** La aplicación guardará de manera automática el cálculo hecho por el usuario en el módulo de detección.
- **Visualizar los registros:** El usuario podrá ver en el módulo de registros una lista con el historial de detecciones que ha realizado, mostrando la fecha, la cantidad detecta y el estimado de cada mercado.
- **Contactar a otros usuarios:** A través de la aplicación los usuarios podrán contactarse vía Gmail.
- **Ingresar valores manualmente:** A través de un apartado el usuario podrá ingresar únicamente el número de bultos con los que cuenta y el peso promedio de los mismos para que el aplicativo devuelva el precio estimado de cada uno de los mercados.
- **Consultar históricos de precios de compra en centrales de abastos:** El usuario tendrá la opción de acceder a un apartado con gráficos que enseñen el comportamiento del precio del Limón Tahití en un periodo de tiempo determinado por el usuario.

- **Estimar el precio de venta:** La aplicación debe tomar el número de bultos, entregados por el usuario o determinados a través de un conteo, y, junto con el peso de estos, retornar al usuario el precio de venta estimado en los cuatro mercados seleccionados.

7.1.2. No funcionales

- **Aplicación funcional sin conexión a internet:** La aplicación funcionará sin conexión. Se realizarán copias de datos que se almacenarán en el caché de la aplicación y después, con la ayuda de Firebase, los datos se enviarán y almacenarán en la nube.
- **Ingreso a la aplicación en el menor tiempo posible:** Se buscará que el proceso de inicio de sesión sea lo más rápido posible.
- **Seguridad:** Se implementará la seguridad de encriptación de datos por medio de Firebase, con el uso de HTTPS y datos de clientes aislados de manera lógica. Adicionalmente, con el uso de Cloud Firestore, se encriptan los datos en reposo. Cabe resaltar que el inicio de sesión, a través de Firebase Authentication, es mediante una cuenta de Google.
- **Escalabilidad:** La aplicación debe ser escalable. Se tiene pensado que la aplicación contemple todos los mercados a nivel nacional y no sea exclusiva para el Limón Tahití. Esto es posible dado que el DANE ofrece una información amplia de los productos y mercados del país.
- **Tamaño de la aplicación:** Se buscará que la aplicación no tenga un peso excesivo, teniendo como un límite 500 mb.
- **Base de datos no relacional:** Los datos de los usuarios, registros y precios del DANE estarán guardados en una base de datos no relacional en la plataforma Firebase.

7.2. Diagrama de componentes

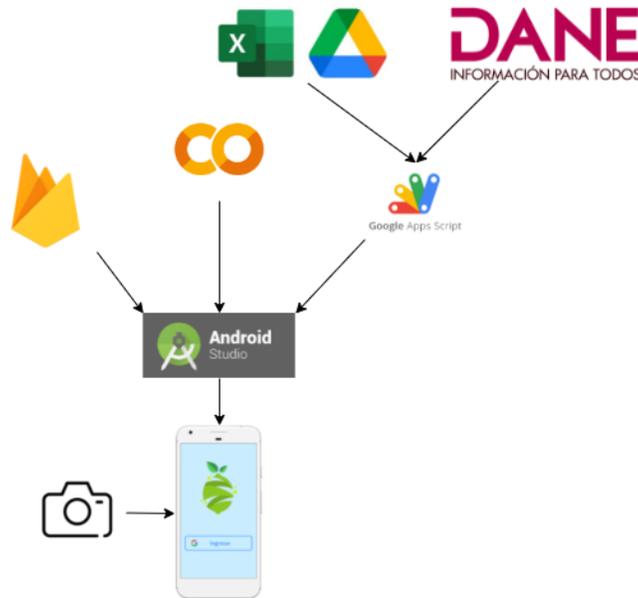


Figura 25. Diagrama de componentes del prototipo
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

En la Figura 25 se pueden observar todos los componentes de la aplicación. El primero de ellos es Firebase donde se almacenan los datos y se crea la sesión del usuario, todo lo anterior en la nube. El siguiente es Google Colab, aquí se trabajó todo lo que tiene que ver con el modelo de inteligencia artificial explicado en el capítulo anterior. También está Google Apps Script, donde se desarrollaron scripts para la implementación de algunos funcionamientos del aplicativo. Por otra parte, está el DANE, el cual proporciona los precios históricos del Limón Tahití. Google Drive hace referencia a la hoja de cálculo que se le asigna al usuario, en la cual podrá ver los datos que tengas guardados. Finalmente está Android Studio, donde se unifican todos los componentes mencionados anteriormente para dar como producto final el prototipo, también se debe tener en cuenta la cámara del dispositivo móvil, la cual se encargará de subir o tomar la fotografía que será analizada por la inteligencia artificial.

7.3. Diagrama entidad-relación

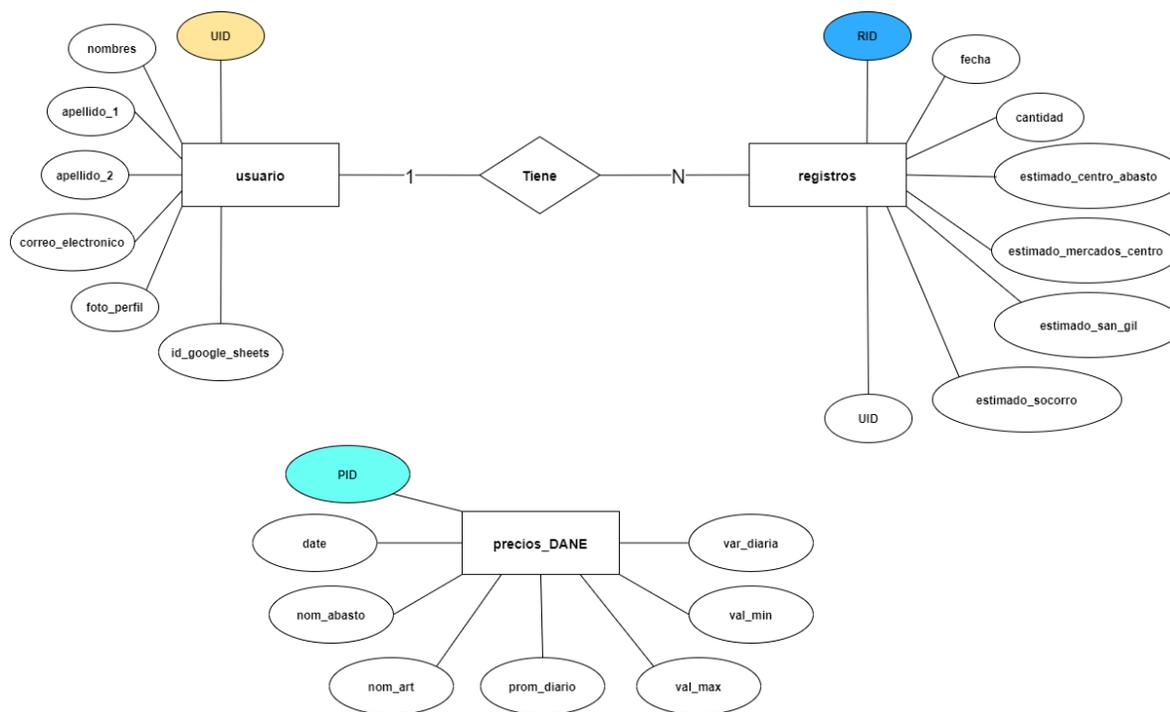


Figura 26. Diagrama entidad - relación
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

En la Figura 26 se puede observar el modelo de datos que representan las entidades, relaciones y propiedades de la aplicación Agrimón App. Las entidades presentadas en este diagrama son tres: usuario, registros y precios_DANE, el primero de estos tiene como atributos toda la información que la aplicación necesita del usuario para su correcto funcionamiento. Los atributos de la entidad registros, son los relacionados a la estimación de una cantidad definida de bultos, por último, los precios_DANE es donde se guardan y almacenan los datos traídos de dicha entidad.

Finalmente, la única relación que se tiene es entre las entidades: usuario y registros, dicha relación se representa como 1:N, dado que, un usuario puede tener muchos registros pero un registro pertenece únicamente a un usuario.

7.4. Diagrama de clases

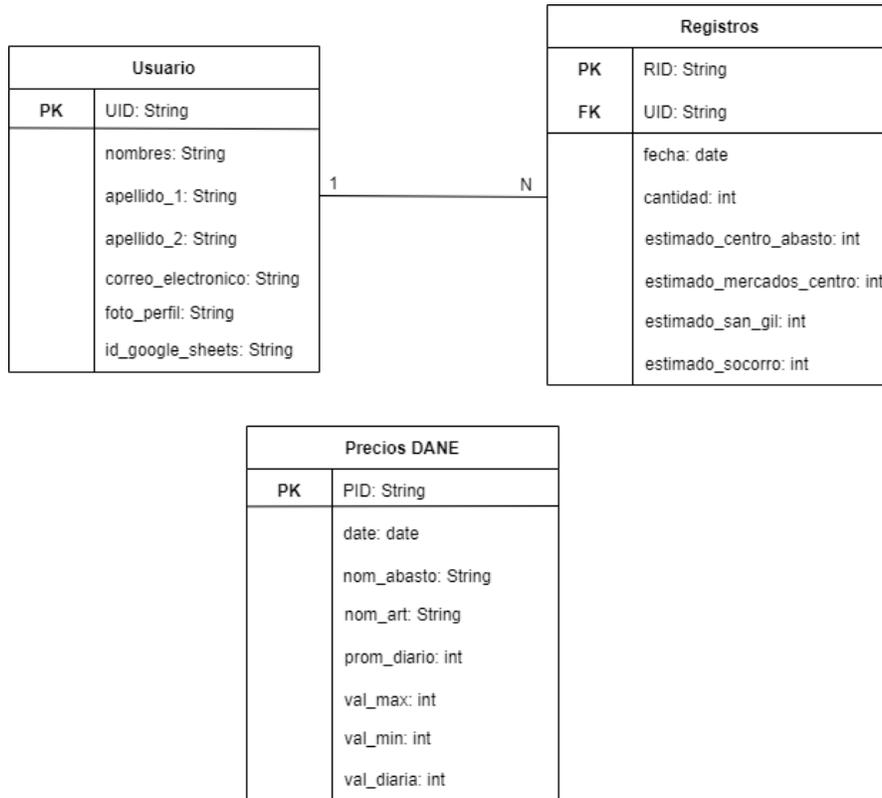


Figura 27. Diagrama de clases
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

En la Figura 27 podemos observar el diagrama de clases, el cual se encarga de mostrar, de forma clara, la estructura que el sistema va a modelar. En este prototipo se pueden evidenciar tres tablas que corresponden a las entidades relevantes y sus respectivos atributos. Adicional a lo anterior, se hace evidencia del tipo de variable que cada atributo o dato de la entidad va a tener.

7.5. Diagrama de casos de uso

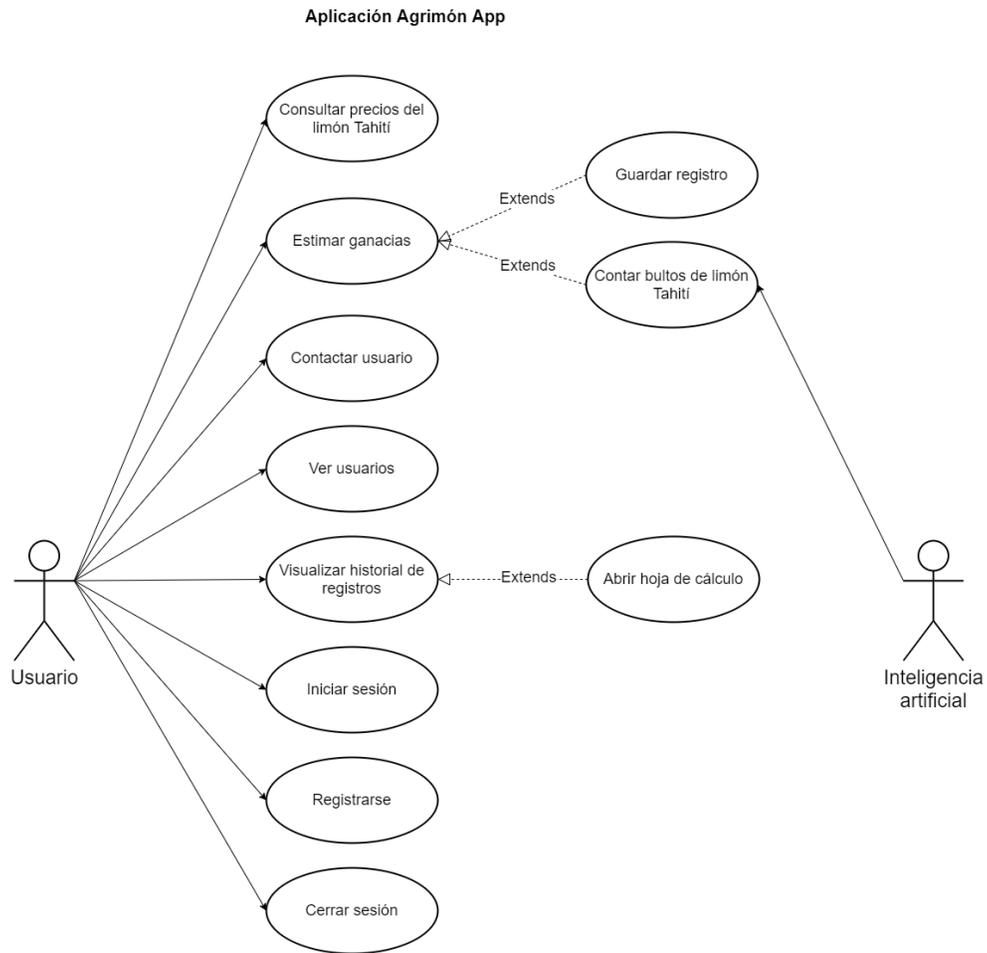


Figura 28. Diagrama de casos de uso
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

En la Figura 28 se presentan los actores involucrados en el sistema (usuario e inteligencia artificial) y las acciones que cada uno va a tomar dentro del aplicativo. Como resultado de este diagrama, se documenta la especificación de cada caso de uso, dando así el Anexo E.

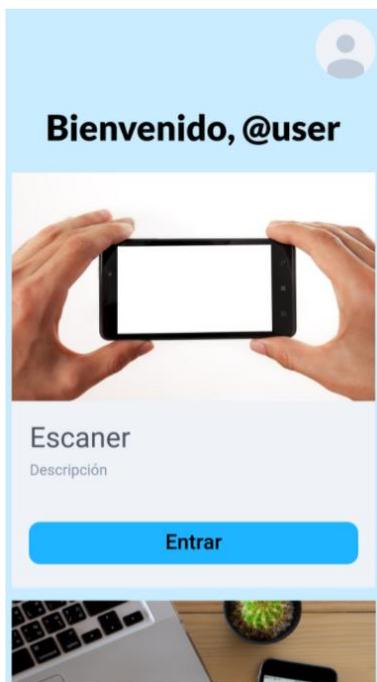
7.6. Diseño

Para cumplir el objetivo de tener una interfaz centrada en el usuario, se hizo uso de la metodología de pensamiento de diseño o *Design Thinking* con el fin de obtener información sobre las necesidades principales de los usuarios. Para ello, se estudiaron diversas herramientas y se decidió realizar entrevistas a la población objetivo. Se elaboraron un total de cuatro preguntas que sirvieron de base para entablar la conversación, a medida que esta iba avanzando surgían otras que nos daban una ampliación de la información que se buscaba obtener.

Como resultado de las entrevistas realizadas (Anexo B) se identificó una mejor aceptación de la segunda interfaz. Esta, según los entrevistados, tenía un mejor uso de los colores, era más amigable a la vista, una navegación más sencilla, un buen uso de los botones y tamaños de estos, letra grande y clara, entre otros aspectos.

Finalmente, como programadores, para tomar una decisión más acertada se consideró el tiempo de ejecución de la aplicación con ambas interfaces. En la primera se tenía pensado utilizar activities, a diferencia de la segunda que hacía uso de fragments, esta última hace que la aplicación sea más rápida y no tan pesada para el usuario, debido a que las actividades consumen más recursos al momento de cargarse. (*Empatizar – Design Thinking Para Ingenieros, 2021*)

Interfaz 1 - No implementada



Interfaz 2 - Implementada



7.7. Desarrollo

El prototipo de aplicación móvil se desarrolla bajo el entorno de desarrollo Android Studio utilizando el lenguaje de programación Java, en esta se selecciona la versión 5.0 de Android, dado que es de las más usada por los dispositivos móviles y se quiere abarcar la mayoría de ellos en la aplicación. Como se puede ver en el Diagrama de componentes del prototipo, los componentes principales de la aplicación se dividen en: Firebase, Google Colab, Google Apps Script y DANE.

En la plataforma Firebase se implementan dos funciones, la primera de ellas es Firebase Authentication con esta se crean las sesiones en la aplicación y adicionalmente, permite guardar los datos y crear el CRUD de los usuarios. La segunda función es Cloud Firestore que permite guardar la información en la nube, en este caso la base de datos implementada se puede evidenciar en el Diagrama de clases. Uno de los requerimientos no funcionales es la posibilidad de usar la aplicación sin conexión de internet, gracias a que Firestore ofrece un soporte sin conexión para dispositivos móviles se puede lograr dicho requerimiento.

Como segundo componente está la implementación de Google Colab, en esta se hace la creación del modelo de inteligencia artificial utilizado para la detección de bultos de Limón Tahití, toda la explicación del proceso para lograrlo se encuentra en el capítulo 6.

También se utilizó Google Apps Script, donde se crean diferentes scripts para el funcionamiento de los módulos de la aplicación. Aquí se realiza el envío de correos electrónicos, la actualización y creación de las hojas de cálculos de los usuarios y la conexión entre el DANE y Firestore.

Finalmente, la página del DANE, SIPSA, donde se encuentran los precios históricos del limón Tahití en los cuatro mercados de Santander (Centroabastos, Mercados del centro, San Gil y Socorro), para ello nos conectamos por medio de Apps Script al API de SIPSA y se almacenan en Firestore. Cabe resaltar que no todos los días de la semana hay mercado en Santander, por ejemplo, en Centroabastos hay mercado los martes, jueves, viernes y sábado, en Socorro el sábado y San Gil los lunes y jueves, es por esto que los datos no están actualizados todos los días, cabe destacar que por medio de Apps Script se hace la creación de un activador el cuál se encarga, todos los días a las 11:00 pm, de hacer la actualización con de los precios obtenidos del DANE.

Para terminar, en Android Studio se implementaron módulos como Volley para la conexión con la API creada por nosotros en Apps Script. También se utiliza Picasso para colocar las imágenes de inicio y la foto de perfil de los usuarios y, por último, Hellocharts para mostrar los gráficos de precios históricos.

8. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

8.1. Evaluación de la usabilidad mediante el System Usability Scale (SUS)

Para evaluar la usabilidad del prototipo de aplicación móvil se utilizaron las preguntas del Sistema de escala de usabilidad (SUS), este cuestionario consta de diez preguntas las cuales se pueden ver en el Anexo C, todas están puntuadas del 1 al 5, siendo 1 muy en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo. (Devin, 2017) Se obtuvieron un total de once respuestas y con ellas se calculó el puntaje SUS que nos permite medir la usabilidad del prototipo.

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | Calificación |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|--------------|
| R1 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 82.5 |
| R2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 85 |
| R3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 95 |
| R4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 87.5 |
| R5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 90 |
| R6 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 85 |
| R7 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 67.5 |
| R8 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 87.5 |
| R9 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 87.5 |
| R10 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 100 |
| R11 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 95 |

SUS 87.5

Figura 29. Tabla de puntajes SUS
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

En la Figura 29 se observa el puntaje SUS de cada respuesta obtenida y estos fueron promediados obteniendo un resultado de 87,5. Para el cálculo, de las once respuestas se tomaron las preguntas impares y al resultado obtenido se le restó uno y, por otro lado, en las preguntas pares se restó 5 al resultado del encuestado. Una vez se tiene el resultado, este se multiplica por 2,5. Por último, se calculó el promedio de las once respuestas para obtener el puntaje SUS de la encuesta. (Devin, 2017)

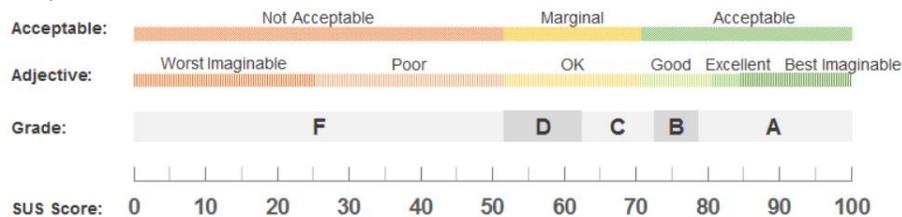


Figura 30. Grados, adjetivos y aceptabilidad asociadas a los puntajes SUS
Fuente: (Devin, 2017)

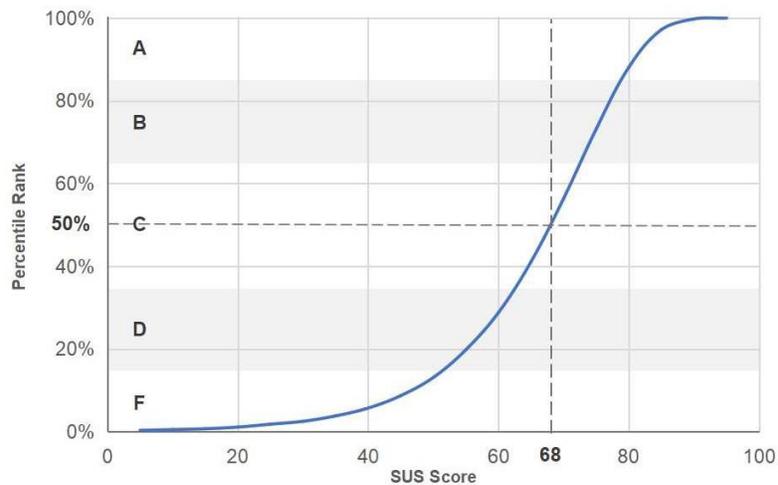


Figura 31. SUS en una curva con rangos percentiles
Fuente: (Sauro, 2018)

Para la interpretación del resultado obtenido se hizo uso de las Figura 30 y Figura 31 en las que se pueden observar los puntajes SUS y sus correspondientes calificaciones, rangos percentiles, adjetivos y aceptabilidad. Después de encontrar el puntaje SUS, 87.5, y hacer el análisis de las figuras, se obtiene una calificación A, un puntaje excelente según el adjetivo, un alto grado de aceptabilidad y un rango percentil entre 95 y 100%. (Sauro, 2018)

8.2. Evaluación del modelo de aprendizaje

Para evaluar el funcionamiento del modelo, en primer lugar, se importó a la aplicación móvil para hacer las pruebas desde allí. Habiendo realizado esto se inicia una toma y carga de fotografías para que la aplicación realice la detección de bultos y se pueda determinar el porcentaje de éxito en este procedimiento.

| Prueba | Bultos detectados | Cantidad real | Porcentaje |
|--------|-------------------|---------------|------------|
| 1 | 4 | 4 | 100% |
| 2 | 7 | 8 | 88% |
| 3 | 2 | 2 | 100% |
| 4 | 4 | 4 | 100% |
| 5 | 3 | 3 | 100% |
| 6 | 4 | 6 | 67% |
| 7 | 11 | 12 | 92% |

| | | | |
|-----------|----|----|------|
| 8 | 10 | 15 | 66% |
| 9 | 5 | 7 | 71% |
| 10 | 2 | 3 | 67% |
| 11 | 5 | 7 | 71% |
| 12 | 4 | 4 | 100% |
| 13 | 8 | 8 | 100% |
| 14 | 4 | 5 | 80% |
| 15 | 4 | 6 | 67% |
| | | | 85% |

Tabla 4. Resultados de la evaluación del modelo
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

4

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 32. Ejemplo de evaluación del modelo
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

7

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 33. Ejemplo de evaluación del modelo
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Como se puede observar en la Tabla 4 el modelo obtuvo un resultado de acierto del 85%, en la Figura 32 y Figura 33 se evidencian algunas de las pruebas realizadas, las demás se encuentran en el Anexo F. El resultado que se obtuvo reafirma que se seleccionó el modelo adecuado y además se puede evidenciar que el porcentaje de acierto obtenido, 85%, es muy similar al mAP del modelo, 86.3%.

9. DISCUSIÓN

Después de realizar un análisis del estado del arte se pudo evidenciar una carencia de aplicaciones móviles destinadas a impulsar el sector agrícola. En adición, la gran mayoría de los proyectos estudiados no son portables y accesibles como deben serlo para que puedan ser implementados en sector agrícola colombiano. De hecho, comparativamente se podría decir que el sector agrícola en nuestro país es indiferente a los avances tecnológicos de los otros sectores y eso imposibilita a los campesinos de gozar de tecnologías que los apoyen en sus labores diarias (máxime, al tener presente la diversidad de cultivos y zonas cultivables a tecnificar). Por esto, el presente proyecto presenta un prototipo de aplicación un entorno móvil considerando las limitaciones a las que se enfrenta el sector. También, se encuentra que gran parte de los proyectos hacen uso de tecnologías costosas como drones, UAV's o, incluso, robots (Ampatzidis et al., 2020).

Por otro lado, autores proponen proyectos de gran complejidad que requieren que los usuarios cuenten con conocimientos previos, cosa que no podemos garantizar en el campo colombiano. Debido a lo anterior, el desarrollo de la presente aplicación involucró a campesinos quienes, a través de retroalimentación, hicieron parte activa en el diseño de esta. Además, para el uso del aplicativo los usuarios no requieren de conocimientos previos dado que el funcionamiento de este es muy intuitivo. Adicionalmente, los autores Lingwal et al. (2021), Park & Park (2021) y Dolezel et al. (2021) presentan proyectos en los cuales se hace énfasis en condiciones de los cultivos y el ganado, como enfermedades, humedad, clasificación de cultivos, entre otros. Este proyecto, a diferencia de los anteriores, busca auxiliar a los campesinos en la toma de decisiones sobre los procesos de venta de sus cultivos.

Seguidamente, en este proyecto se implementan redes neuronales convolucionales las cuales reducen significativamente el número de capas ocultas respecto a una red neuronal completamente conectada, lo que resulta en tiempos menores de entrenamiento. Lingwal et al. (2021) en su proyecto hace uso de este tipo de redes ya que se enfoca en el aprendizaje automático, este proyecto cuenta con limitaciones al momento de introducir muchas características y al implementar este tipo de redes obtiene resultados positivos. En nuestro modelo de aprendizaje se hacen uso de redes neuronales convolucionales y podemos corroborar la hipótesis planteada en el proyecto de Lingwal et al. (2021).

Dentro de análisis del estado del arte se hace evidente la poca investigación e implementación de la computación en la nube en el sector agrícola. Uno de los pocos proyectos donde se implementó esta tendencia tecnológica fue el de Ampatzidis, donde obtenía como resultado una disminución en el tiempo de recolección de datos y reducción de costos al implementarla. En este proyecto, dada la poca utilidad de la computación en la nube en el sector agrícola, se busca impulsar esta tecnología obteniendo resultados muy buenos enfocados a su

funcionamiento. Obteniendo, como resultado de lo anterior, una aplicación con diversas herramientas de Google completamente funcional para el sector agrícola. Finalmente, el prototipo de aplicación móvil desarrollado es escalable ya que en un futuro se podrán agregar más productos y mercados para conseguir un gestor de ventas más robusto. Adicionalmente, una posible mejora es la implementación de la versión *Tiny* de YOLOv4 en el modelo de aprendizaje para obtener un tiempo de detección menor sacrificando algo de precisión. También, se puede incrementar significativamente el tamaño del dataset con el que se entrena el modelo para obtener resultados mejores. Las pruebas realizadas pudieron haber sido más completas si hubiésemos incluido al usuario final en el proceso, dada la pandemia actual del COVID19 esto no fue posible. Por esta misma razón se limitó la participación de los campesinos en el diseño de la aplicación, no fue posible contactarlos constantemente. Aun así, se pudo incluir el concepto de diseño centrado en el usuario el cual fue contrastado con la mediciones de usabilidad.

10. CONCLUSIÓN

En el presente documento se expone el desarrollo de un prototipo de aplicación móvil destinada al sector agrícola colombiano, donde se busca apoyar en los procesos de ventas de sus productos, más específicamente el limón Tahití. El prototipo cumple con todas las funcionalidades propuestas inicialmente, la primera de ellas es el uso de inteligencia artificial, que a través de la visión por computador realiza conteos de bultos, y computación en la nube, para almacenar los datos necesarios. Adicionalmente, la aplicación le brinda al usuario la posibilidad de, además de contar, estimar los precios de venta de sus productos en los principales mercados de Santander. El prototipo está estrechamente asociado con los servicios ofrecidos por Google, es por esto por lo que el inicio de sesión se realiza mediante una cuenta Gmail y toda la comunicación entre los usuarios se hace por medio de correos electrónicos vía Gmail. También, se utilizó Google Sheets, un servicio en la nube, para almacenar todos los conteos y estimaciones realizadas por el usuario, esto con el fin de proporcionarle una ayuda en la toma de decisiones enfocadas en la gestión de ventas.

A través del proyecto se evidencia de qué manera se puede trabajar conjuntamente la computación en la nube y la inteligencia artificial en un entorno Smart Farming. Se decidió trabajar en este entorno por la gran importancia de la agricultura en Colombia, una parte significativa del PIB es aportada por esta práctica. Además, el sector agrícola colombiano se enfrenta a un reto de transferencia tecnológica, de hecho, la falta de tecnología en las zonas rurales que restringe el desarrollo e impide que Colombia se convierta en una de las grandes despensas del mundo. Por otra parte, en la revisión de la literatura se encontró que la producción de cítricos en Santander representa una gran parte de la producción del país y por eso se tomó la decisión de trabajar con el limón Tahití, un producto muy prometedor.

Finalmente, la aplicación tiene como beneficios su portabilidad, escalabilidad, bajos recursos de hardware, no requiere una conexión activa a internet y ocupa muy poco espacio de almacenamiento, gracias a la implementación de servicios en la nube. En cuanto a la escalabilidad, el prototipo cuenta con muchas opciones de mejoras, entre ellas está la integración de nuevos productos y mercados para que pueda ser implementado en una escala nacional.

11. REFERENCIAS

- Acharya, T., & Ray, A. (2005). *Image Processing: Principles and Applications*.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=smBw4-xvfrIC&oi=fnd&pg=PR7&dq=image+processing&ots=FZB19OxRCH&sig=95nlsOdk59k84hk9IH1kbpVsg9Y#v=onepage&q&f=false>
- Aguirre Dobernack, N. (2013). *Implementación De Un Sistema De Detección De Señales De Tráfico Mediante Visión Artificial Basado En Fpga*. 255.
- Alexandrova, S., Tatlock, Z., & Cakmak, M. (2015). *RoboFlow: A Flow-based Visual Programming Language for Mobile Manipulation Tasks*.
<http://youtu.be/c3Cq0sy4TBs>
- AlexeyAB. (2020). *AlexeyAB/darknet: YOLOv4 / Scaled-YOLOv4 / YOLO - Neural Networks for Object Detection (Windows and Linux version of Darknet)*.
<https://github.com/AlexeyAB/darknet>
- Ampatzidis, Y., Partel, V., & Costa, L. (2020). Agroviz: Cloud-based application to process, analyze and visualize UAV-collected data for precision agriculture applications utilizing artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174(April), 105457. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105457>
- Android Studio Developers. (2021, May 17). *Introducción a Android Studio | Desarrolladores de Android*.
<https://developer.android.com/studio/intro?hl=es-419>
- Ardións, A. (2016, May 16). *Android Studio: Requisitos mínimos*.
<https://androidstudiofaqs.com/conceptos/android-studio-requisitos-minimos>
- Arias, Á. (2015, January 11). *Computación en la Nube: 2ª Edición*.
https://books.google.com.co/books/about/Computación_en_la_Nube.html?id=0_mCgAAQBAJ&redir_esc=y
- Barrio, M. (2018). *Internet de las Cosas*.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jF-LDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=Qué+es+el+internet+de+la+cosas&ots=3LK3iz5jzO&sig=geerUNMUtb0weqb9BbzWO1A06Jk#v=onepage&q&f=false>
- Bhatnagar, V., Singh, G., Kumar, G., & Gupta, R. (2020). Internet of Things in Smart Agriculture: Applications and Open Challenges. *International Journal of Students' Research in Technology & Management*, 8(1), 11–17.
<https://doi.org/10.18510/ijstrtm.2020.812>
- Botina Patiño, V. E., & Díaz Moreno, J. S. (2017). *Guía de exportación de limón Tahití*.
https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/83654/1/TG01920.pdf
- Brandoli, B., Spadon, G., Esau, T., Hennessy, P., Carvalho, A. C. P. L., Amer-Yahia, S., & Rodrigues-Jr, J. F. (2021). DropLeaf: A precision farming smartphone tool for real-time quantification of pesticide application coverage. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180(August 2020), 105906.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105906>
- Brownlee, J. (2019, May 22). *A Gentle Introduction to Object Recognition With Deep Learning*. <https://machinelearningmastery.com/object-recognition-with->

- deep-learning/
- Carrión, C. B. (2020). *REDES CONVOLUCIONALES*.
- Castrignano, A., Buttafuoco Gabriele, Khosla, R., Mouazen, A., Moshou, D., & Naud, O. (2020). *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*. <https://www.elsevier.com/books/agricultural-internet-of-things-and-decision-support-for-precision-smart-farming/castrignano/978-0-12-818373-1>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). (2015). *MISIÓN PARA LA TRANSFORMACIÓN DEL CAMPO*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal-y-pesca/Diagnóstico-de-la-Ciencia,Tecnología-e-Innovación-en-el-Sector-Agropecuario-CORPOICA.pdf>
- Crew Noticias Móviles. (2021). *La plataforma de desarrollo de visión artificial Roboflow recauda \$ 20 millones - Noticias Movil*. <https://noticiasmoviles.com/la-plataforma-de-desarrollo-de-vision-artificial-roboflow-recauda-20-millones/>
- Dapena, A., García-Naya, J., Castro-Castro, P.-M., & Pan, C. (2010). *Aplicación web para evaluación y seguimiento del rendimiento de asignaturas y titulaciones universitarias*. May 2014.
- Devin, F. (2017, February 25). *Sistema de Escalas de Usabilidad: ¿qué es y para qué sirve? | UXpañol*. <https://uxpanol.com/teoria/sistema-de-escalas-de-usabilidad-que-es-y-para-que-sirve/>
- Dolezel, P., Stursa, D., Honc, D., Merta, J., Hora, I., & Beran, L. (2020, September). *Counting Livestock with Image Segmentation Neural Network*.
- Dominguez Torres, A. (2000). *PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES*.
- DVA. (2020). *Importancia de la agricultura colombiana*. <https://dva.com.co/importancia-de-la-agricultura-colombiana/>
- EBF. (2019, September 11). *Ventajas y desventajas de las metodologías Agile (ágiles)*. <https://ebf.com.es/blog/ventajas-y-desventajas-de-las-metodologias-agiles-y-su-aplicacion-en-el-trabajo/>
- Empatizar – Design Thinking para ingenieros*. (n.d.). Retrieved November 4, 2021, from <https://blogs.upm.es/minenergydesign/empatizar/>
- Fernández, A. (2019). Inteligencia artificial en los servicios financieros. Artículos Analíticos. Boletín Económico 2/2019. *Scielo*, 5, 10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7040792>
- franspg. (2020, January 27). *Generación de datos artificiales (Data Augmentation) – franspg*. <https://franspg.wordpress.com/2020/01/27/generacion-de-datos-artificiales-data-augmentation/>
- Fuente Sanz, Ó. M. (2019, June 4). *Google Colab: Python y Machine Learning en la nube - Adictos al trabajo*. <https://www.adictosaltrabajo.com/2019/06/04/google-colab-python-y-machine-learning-en-la-nube/>
- Gerhards, R., Späth, M., Sökefeld, M., Peteinatos, G. G., Nabout, A., & Rueda Ayala, V. (2021). Automatic adjustment of harrowing intensity in cereals using digital image analysis. *Weed Research*, 61(1), 68–77.

- <https://doi.org/10.1111/wre.12458>
- Gómez Sarasa, C. C., & Ortega Pabón, J. D. (2020, September 24). *Técnicas de aumento de datos para imágenes aéreas y evaluación de rendimiento en modelos de deep learning | Revista Universidad Católica de Oriente*.
<https://revistas.uco.edu.co/index.php/uco/article/view/285>
- Google Colab. (2021a, November 8). *Google Colab*.
<https://research.google.com/colaboratory/intl/es/faq.html>
- Google Colab. (2021b, November 8). *Google Colab*.
<https://colab.research.google.com/signup>
- Google Inc. (2021a). *Apps Script*. <https://developers.google.com/apps-script>
- Google Inc. (2021b). *Google Workspace*. <https://workspace.google.com>
- Grupo Bancolombia. (2018, September 28). *Cultivo de limón Tahití*.
<https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/negocios/actualizate/sostenibilidad/guia-cultivo-limon-tahiti>
- Huang, J., Guo, P., Xie, Q., & Meng, X. (2015). Cloud services platform based on big data analytics and its application in livestock management and marketing. *Proceedings of Science, 18-19-Dece*, 1–8.
<https://doi.org/10.22323/1.264.0063>
- Hunglcoo7. (2020). *YOLOv4, YOLOv4-tiny, YOLOv3, YOLOv3-tiny Implemented in Tensorflow 2.0, Android. Convert YOLO v4 .weights tensorflow, tensorrt and tflite*. <https://github.com/hunglc007/tensorflow-yolov4-tflite>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2021, January 22). *En Santander, alianza entre el ICA, la Gobernación, Asohofrucol, Agrosavia y productores por la citricultura de la región*. <https://www.ica.gov.co/noticias/gran-alianza-ica-autoridades-gremios-santander>
- Izaurieta, F., & Saavedra, C. (1999). Redes Neuronales Artificiales. *Charlas de Física*, 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0210-5691\(05\)74198-X](https://doi.org/10.1016/S0210-5691(05)74198-X)
- Jiménez, M. (2020, January 18). *¿Qué es y para qué sirve Android Studio? - Minuto Neuquen*. <https://www.minutoneuquen.com/tecno/2020/1/18/que-es-para-que-sirve-android-studio-181273.html>
- Kelleher, J. D. (2019). *Deep Learning*.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=b06qDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP9&dq=deep+learning+&ots=_oCYXlpYYN&sig=4KbEcpv_Yy1I6FuMZ2k6ljxAZas#v=onepage&q=deep learning&f=false
- Lin, Q., Ye, G., Wang, J., & Liu, H. (2021). *RoboFlow: a Data-centric Workflow Management System for Developing AI-enhanced Robots*.
<https://sites.google.com/u.northwestern.edu/roboflow>
- Lingwal, S., Bhatia, K. K., & Tomer, M. S. (2021). Image-based wheat grain classification using convolutional neural network. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10174-3>
- Maldonado, M. (2019, September 12). *Las mejores metodologías ágiles para la creación de software*. <https://www.digital55.com/desarrollo-tecnologia/mejores-metodologias-agiles-creacion-software>
- Mardian, J., Berg, A., & Daneshfar, B. (2021). Evaluating the temporal accuracy of grassland to cropland change detection using multitemporal image analysis.

- Remote Sensing of Environment*, 255(November 2020), 112292.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112292>
- Martnez, J. V. Y., Skarmeta, A. F., Zamora-Izquierdo, M. A., & Ramallo-Gonzlez, A. P. (2020). IoT-based data management for Smart Agriculture. *2020 2nd International Conference on Embedded and Distributed Systems, EDiS 2020*, 41–46. <https://doi.org/10.1109/EDiS49545.2020.9296443>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2019). *Boletín trimestral de las TIC. Cifras cuarto trimestre de 2018*.
- Moysiadis, V., Sarigiannidis, P., Vitsas, V., & Khelifi, A. (2021). Smart Farming in Europe. *Computer Science Review*, 39, 100345.
<https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100345>
- Naciones Unidas. (2015, September 25). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Orús, A. (2021, February 11). *Principales productores de limón y lima del mundo*. <https://es.statista.com/estadisticas/613493/principales-paises-productores-de-limon-en-el-mundo/>
- Park, J. K., & Park, E. Y. (2021). Monitoring method of movement of grazing cows using cloud-based system. *ECTI Transactions on Computer and Information Technology*, 15(1), 24–33. <https://doi.org/10.37936/ecti-cit.2021151.240087>
- PDD-Santander. (2020). Santander siempre contigo y para el mundo Plan de Desarrollo Departamental 2020-2023. *Planeación Departamental*, 53(9), 1689.
- Pérez, P., & Valente, M. (2018). *Fundamentos básicos del procesamiento de imágenes — documentación de Curso de imágenes médicas - 1.0*. <https://www.famaf.unc.edu.ar/~pperez1/manuales/cim/cap2.html#introduccion-al-procesamiento-de-imagenes>
- Puyol, F. (2017). *Una aproximación a algunos elementos de internet de las cosas*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5178220>
- Rafi, S. A., Chowdhury, T. H., Rahaman, D. M. A., Bari, M. W., Islam, M. J., & Tanjim, M. S. S. (2021). Crop Condition Analyzer Robot with Image Processing Feedback to Assist Farmer. *ICREST 2021 - 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, 188–192. <https://doi.org/10.1109/ICREST51555.2021.9331053>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. <http://pjreddie.com/yolo/>
- Research Gate. (2017). *Data augmentation using semantic-preserving transformation for SBIR*. | Download Scientific Diagram. https://www.researchgate.net/figure/Data-augmentation-using-semantic-preserving-transformation-for-SBIR_fig2_319413978
- Rivera Mesa, M. (2019, October 1). *Estos son los “gadgets” para el campo colombiano*. <https://semanarural.com/web/articulo/como-se-esta-tecnificando-el-campo-colombiano-/1159>
- RoboFlow. (2021, August 5). *Image Augmentation - Roboflow*. <https://docs.roboflow.com/image-transformations/image-augmentation>

- Rosselló Villán, V. (2019, March 15). *Qué son las metodologías ágiles y cuáles son sus ventajas empresariales*. <https://www.iebschool.com/blog/que-son-metodologias-agiles-agile-scrum/>
- Roukh, A., Fote, F. N., Mahmoudi, S. A., & Mahmoudi, S. (2020). WALLeSMART: Cloud Platform for Smart Farming. *ACM International Conference Proceeding Series*, 1–4. <https://doi.org/10.1145/3400903.3401690>
- Rusk, N. (2015). *Deep learning*. <https://doi.org/10.1101/028399>
- Sauro, J. (2018, September 19). *5 Ways to Interpret a SUS Score – MeasuringU*. <https://measuringu.com/interpret-sus-score/>
- SCIO. (2019, February 20). *Metodología tradicional o ágil ¿Cuál es la mejor opción para mi proyecto de desarrollo de software? - Scio México*. <https://www.scio.com.mx/blog/metodologia-tradicional-o-agil-software/>
- Semana. (2016, September 28). *Colombia puede convertirse en una de las grandes despensas del mundo*. <https://www.semana.com/pais/articulo/como-va-a-ser-el-futuro-agropecuario-de-colombia/232363/>
- Semana. (2020, November 13). *Limón tahití, una promesa exportadora*. <https://www.semana.com/empresas/articulo/limon-tahiti-podria-ser-el-siguiente-exito-exportador-del-pais/306471/>
- Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers and Operations Research*, 119, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104926>
- Supeshala, C. (2020). *YOLO v4 or YOLO v5 or PP-YOLO? Which should I use?* <https://towardsdatascience.com/yolo-v4-or-yolo-v5-or-pp-yolo-dad8e40f7109>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2020, May). *Connect 2030 – An agenda to connect all to a better world*. <https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/connect-2030-agenda.aspx>
- Vanegas, M. (2002). *Guía Técnica Cultivo Del Limón Pérsico. Programa Nacional de Frutas de El Salvador*, 46. <http://repiica.iica.int/docs/B0217e/B0217e.pdf>

12. ANEXOS

Anexo A. Interfaces gráficas

Interfaz 1:

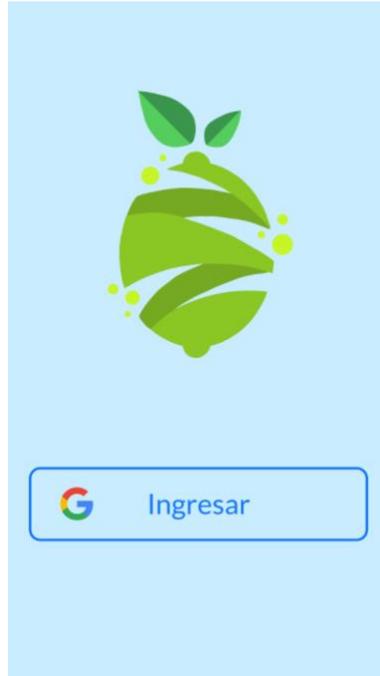


Figura 34. Pantalla de inicio de sesión

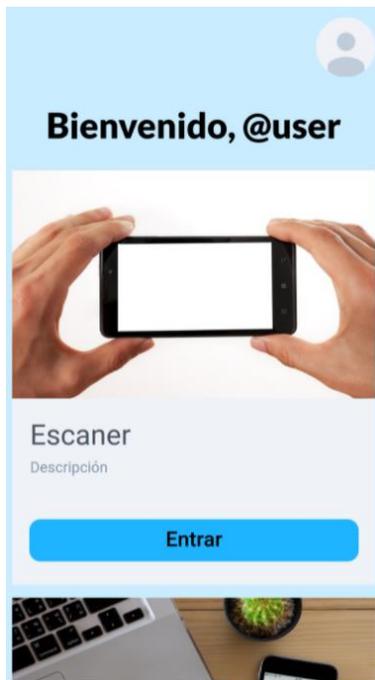


Figura 35. Pantalla de inicio



Figura 36. Pantalla de inicio



Figura 37. Pantalla principal del escáner

Imagen subida



Los bultos encontrados en la imagen fueron:

45

* La cantidad mostrada no es exacta, es un valor aproximado.

Según la base de datos del DANE, la cantidad de 45 bultos, se puede vender en xxx COP.

Volver al menú

Figura 38. Pantalla de resultados



Figura 39. Pantalla de precios históricos

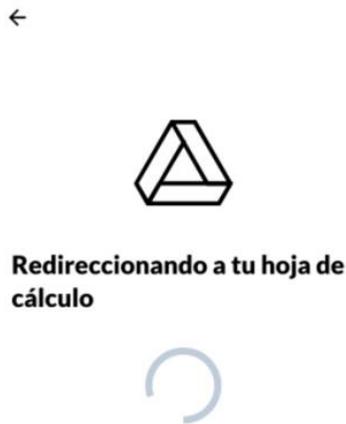


Figura 40. Pantalla de redirección a registros

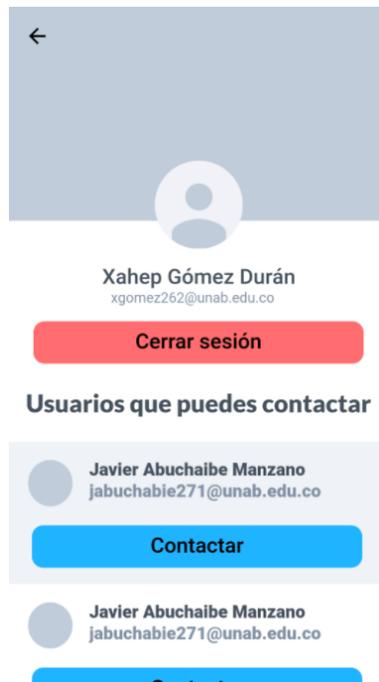


Figura 41. Pantalla de perfil

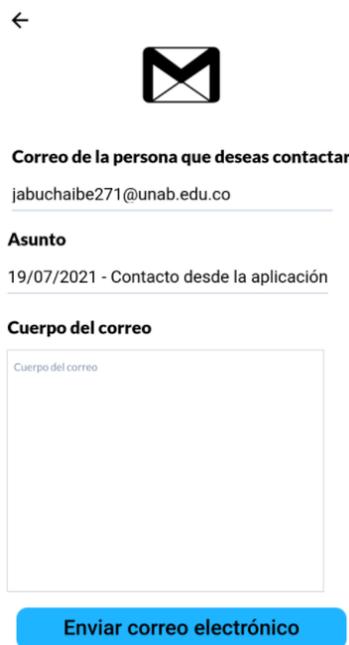


Figura 42. Pantalla de envío de correos

Interfaz 2:

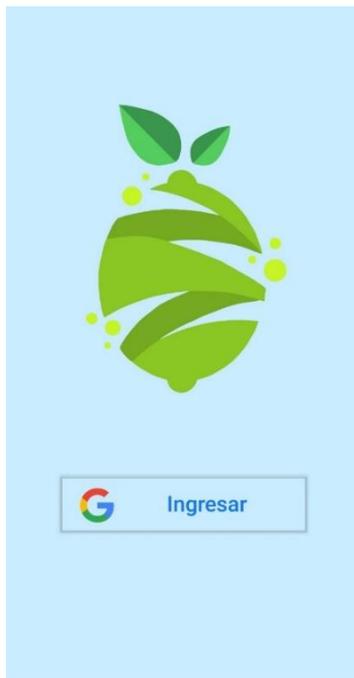


Figura 43. Pantalla de inicio de sesión

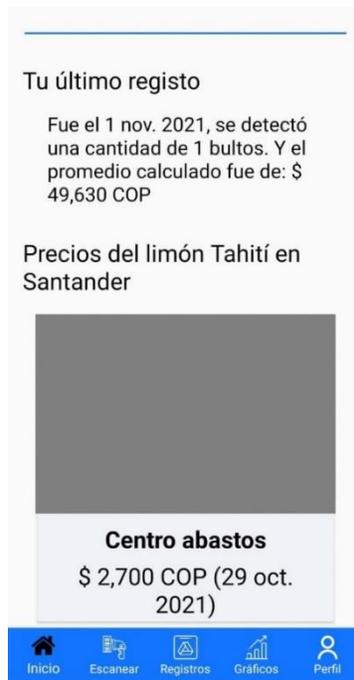


Figura 44. Pantalla de inicio



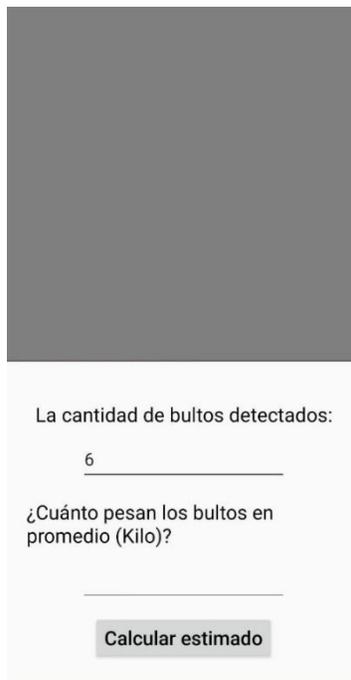
Figura 45. Pantalla de inicio



Figura 46. Pantalla principal de escáner



Figura 47. Pantalla para ingresar datos por IA



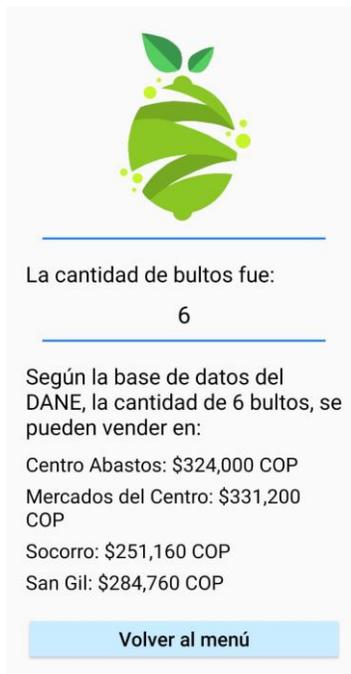
La cantidad de bultos detectados:

6

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 48. Pantalla con bultos detectados



La cantidad de bultos fue:

6

Según la base de datos del DANE, la cantidad de 6 bultos, se pueden vender en:

Centro Abastos: \$324,000 COP
Mercados del Centro: \$331,200 COP
Socorro: \$251,160 COP
San Gil: \$284,760 COP

Volver al menú

Figura 49. Pantalla de resultados

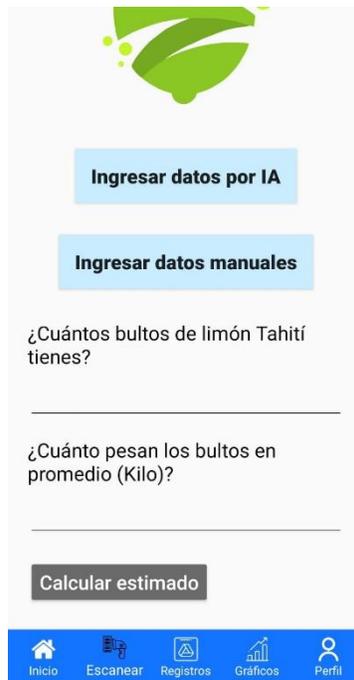


Figura 50. Pantalla de ingresar datos manuales

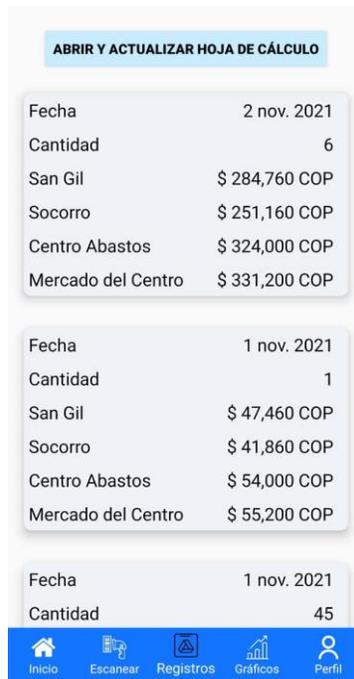


Figura 51. Pantalla de registros

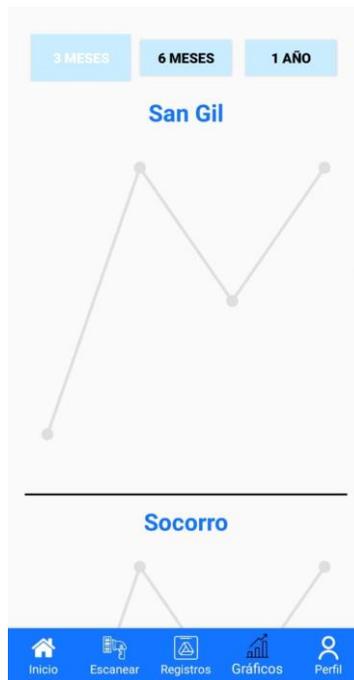


Figura 52. Pantalla de gráficos



Figura 53. Pantalla de perfil



Figura 54. Pantalla de ver otros usuarios

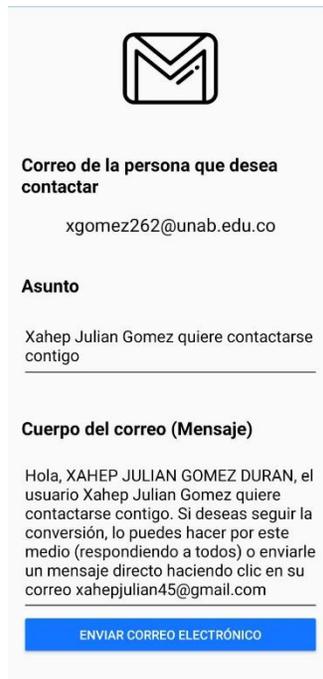


Figura 55. Pantalla de contactar usuario

Anexo B. Entrevistas a usuarios

Para las entrevistas se crearon cuatro preguntas base, las cuáles son:

- ¿Utilizaría nuestra aplicación?, ¿Entiende para qué está enfocada?
- ¿Con cuál de las dos interfaces se queda?, ¿Por qué?
- ¿Qué cambios le haría a la interfaz escogida?
- ¿Es intuitiva (es fácil de usar)?

Con estas, se entabló la conversación con cada campesino y, a medida que esta avanzaba, iban surgiendo nuevas preguntas. Cabe resaltar que la idea de la entrevista era sacar la mayor cantidad de información sobre las interfaces, por eso se le pregunta al usuario el porqué de sus respuestas para ampliar la información. Todas las entrevistas fueron realizadas durante el mes de septiembre, estas se realizaron de manera presencial en Lebrija, Santander. Los entrevistados trabajan directamente con bultos de limón y otros productos.

Campesino #1

Entrevistador: “Mi compañero y yo estamos haciendo una aplicación para ayudarle a contar los bultos y para que vea cuánta plata puede ganar. ¿Le gusta esa idea? ¿Utilizaría la aplicación?”

Entrevistado: “Pues a mí me parece chévere, si la pruebo y funciona bien si la uso. Pero no entiendo muy bien cómo se hace.”

Entrevistador: “Si, claro. La aplicación le va a pedir a usted que tome una foto con su celular, y ella con esa foto va a contar los bultos que aparezcan. Después de eso le va a mostrar en cuánto puede vender esos bultos.”

Entrevistado: “Ah ya. Entonces yo creo que si me sirve.”

Entrevistador: “Vale, ahora le vamos a mostrar dos planes de la aplicación. La idea es que usted nos diga cuál le gusta más.”

Entrevistado: “Pues en la primera que me mostró quedé un poco perdido. Porque uno le da a los botones y cómo que se va de donde estaba y me pierdo. También hay partes en las que la letra se ve muy chiquita y no se deja leer.”

Entrevistador: “Listo, si señor. ¿Del segundo que piensa?”

Entrevistado: “Pues el segundo se ve como más bonito, la barrita azul de abajo ayuda a saber en donde está. El fondo blanco ayuda bastante porque es como más fácil de ver y de leer y pues se ve como mejor.”

Entrevistador: “Vale, muchas gracias por todo.”

Entrevistado: “Listo amigo, con gusto.”

Campesino #2

Entrevistador: “Buen día, estamos hablando con usted para hacerle algunas preguntas relacionadas con nuestra tesis. Estamos creando una aplicación para que pueda gestionar las ventas de sus bultos, dándole algunos precios estimados. ¿Entiende bien la idea o necesita una mejor explicación?”

Entrevistado: “Sí, creo que sí”

Entrevistador: “Para quede bien claro, la aplicación está enfocada a personas que cultivan o distribuyen limón Tahití, queremos darles una ayuda para que puedan saber de ante mano en cuanto pueden llegar a vender sus bultos. Ahora, le vamos a mostrar dos interfaces, esto es como se va a ver la aplicación, y luego le haremos algunas preguntas”

Entrevistador: (Se muestran las dos interfaces mediante imágenes)

Entrevistador: “¿Cuál de las dos interfaces le gustó más o le llamó más la atención?”

Entrevistado: “Me gustó más la segunda que la primera”

Entrevistador: “¿Por qué le gustó más la segunda?”

Entrevistado: “Me parece que se ve mejor, siento que tiene más cosas y no sé, me sentí más cómodo viéndola”

Entrevistador: “¿Qué cambios le haría?”

Entrevistado: “Yo creería que ninguna”

Entrevistador: “¿Le gusta el tipo de letra, los colores, los tamaños?”

Entrevistado: “Si me gustaría que la letra fuera más grande, porque en ocasiones me cuesta ver que dice, en algunas imágenes que me mostraron no sabía lo que decía. Y que no haya tantos botones, porque me pasa con otras aplicaciones que a veces no sé en qué parte estoy y me pierdo mucho”

Entrevistador: “Ok, perfecto. ¿Le gustaría que estuviera distribuida de alguna otra manera la aplicación o siente que los módulos están bien?”

Entrevistado: “¿Cuáles módulos?”

Entrevistador: “¿En la parte inferior se ve un menú, que se divide en 5 partes, considera que están bien o alguna sobra?”

Entrevistado: “Aaa no, eso fue lo que más me gustó en comparación con la otra, siento que esa parte está bien”

Entrevistador: “¿Siente que las imágenes e íconos están bien relacionados? O sea, ¿tienen que ver con el texto?”

Entrevistado: “Sí, están bien. Me quedé un poco perdido en la parte del escaneo o algo así, pero por las otras bien”

Entrevistador: “¿Qué sintió que mal en esa parte?”

Entrevistado: “En la parte de la imagen o la foto, algo así”

Entrevistador: “Ok, en esa parte es básicamente que puede subir o tomar una foto con su celular y de manera automática va a contar los bultos que hay en esa foto. Igualmente, está la parte manual, entonces no tendría que preocuparse si no entiende muy bien la otra”

Entrevistado: “Vale”

Entrevistador: “Bueno, muchísimas gracias por su paciencia y respuestas”

Entrevistado: “Con mucho gusto”

Campesino #3

Entrevistador: “Buenas, ¿cómo le va? Mi compañero y yo estamos realizando una aplicación móvil para ayudarle con el conteo de bultos y con el cálculo de las ganancias que puede obtener en los mercados locales. ¿Entiende el propósito de la aplicación? ¿Les interesaría utilizarla?”

Entrevistado: “Pues tendríamos que verla funcionando, pero suena muy interesante, sí.”

Entrevistador: “Vale, ahora le vamos a mostrar dos propuestas para el diseño y queremos que nos diga cuál le gusta más.”

Entrevistado: “La verdad ambas interfaces son limpias y fáciles de ver y utilizar. Pero me inclino un poco más por la segunda, la barra de abajo ayuda mucho y deja que uno se mueva más rápido por las secciones.”

Entrevistador: “Listo, ¿le haría algún cambio?”

Entrevistado: “Personalmente no. Pero por ejemplo mi papá que también utilizaría la aplicación no creo que alcance a leer bien todo lo que dice. Además, siento que le va a costar bastante utilizarla, pero a él le cuesta todo lo de tecnología.”

Entrevistador: “Vale, tomamos nota de eso. Muchas gracias.”

Entrevistado: “A ustedes. Hasta luego.”

Campesino #4

Entrevistador: “Hola, buenos días, habla con Julián y Javier, esta llamada será para hacerle algunas preguntas enfocadas a nuestra tesis”

Entrevistado: “Hola, buenos días”

Entrevistador: “Le vamos a explicar un poco para que sirve nuestra aplicación, en esta usted podrá estimar el valor de bultos del limón Tahití en diferentes mercados de Santander, para la estimación se le pedirá la cantidad de bultos y el peso promedio, también todas las estimaciones se van a guardar en la aplicación y en un archivo de Excel para que usted puede hacer la respectiva gestión. ¿Qué tal le parece la idea?”

Entrevistado: “Me gusta, quisiera saber que mercados tienen contemplados”

Entrevistador: “Por ahora, solo los de Santander, nosotros estamos tomando los precios para las estimaciones del DANE, y tienen a San Gil, Socorro, Mercados del Centro y Centro Abastos, los dos últimos son de aquí, de Bucaramanga”

Entrevistado: “Ok, entiendo”

Entrevistador: “A continuación le mostraremos dos interfaces, esto significa como usted va a ver la aplicación y posteriormente le haremos algunas preguntas”

Entrevistador: (Se muestran las dos interfaces mediante imágenes)

Entrevistador: “Bueno, después de ver las dos interfaces, ¿cuál de las dos interfaces le gustó más o le llamó más la atención?”

Entrevistado: “La verdad las dos me gustaron”

Entrevistador: “Ok, ¿qué le gustó de cada uno?”

Entrevistado: “De la primera me gustó mucho las tarjetas, por así llamarlo, que me mostraron al comienzo, siento que uno no se pierde tanto. Pero no me gustó que

algunas tenían muchas cosas vacías, a diferencia de la segunda. Y también, no me gustó mucho el color azul de fondo, siento que sería mejor el blanco o otro color distinto.”

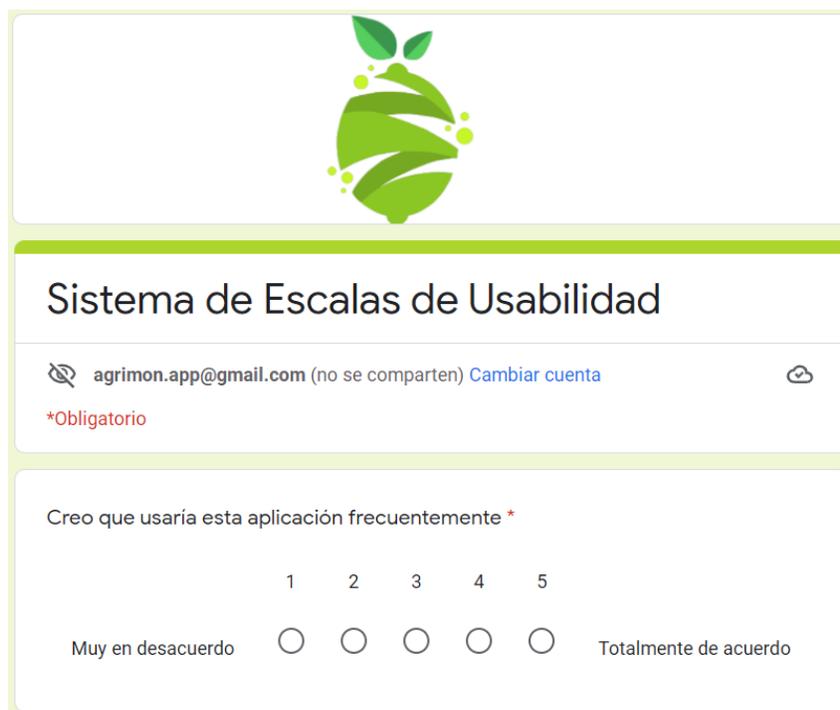
Entrevistador: “Vale, perfecto. ¿Le gusta el tipo de letra, los colores, los tamaños de los botones?”

Entrevistado: “Sí, la letra de la segunda me parece que en algunas ocasiones estaba muy pequeña, de las dos me gustó mucho el tamaño de los botones y que son bastante claros con lo que van a hacer. Bueno y respecto a los colores lo del fondo que les dije ahorita”

Entrevistador: “Bueno, muchas gracias por su tiempo, tendremos en cuenta sus mejoras”

Entrevistado: “Con mucho gusto”

Anexo C. Formulario del Sistema de escala de usabilidad (SUS)





Sistema de Escalas de Usabilidad

 agrimon.app@gmail.com (no se comparten) [Cambiar cuenta](#) 

*Obligatorio

Creo que usaría esta aplicación frecuentemente *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Figura 56. Pregunta 1 del formulario SUS
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Encuentro esta aplicación innecesariamente compleja *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Creo que la aplicación fue fácil de usar *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar esta aplicación *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Las funciones de esta aplicación están bien integradas *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Creo que la aplicación es muy inconsistente *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar esta aplicación de forma rápida *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Figura 57. Preguntas 2 - 7 del formulario SUS
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Encuentro que la aplicación es muy difícil de usar *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Me siento seguro de usar esta aplicación *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar esta aplicación *

1 2 3 4 5

Muy en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Enviar Borrar formulario

Figura 58. Preguntas 8 - 10 del formulario SUS
 Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Anexo D. Respuestas del formulario del Sistema de escala de usabilidad (SUS)

Creo que usaría esta aplicación frecuentemente

11 respuestas

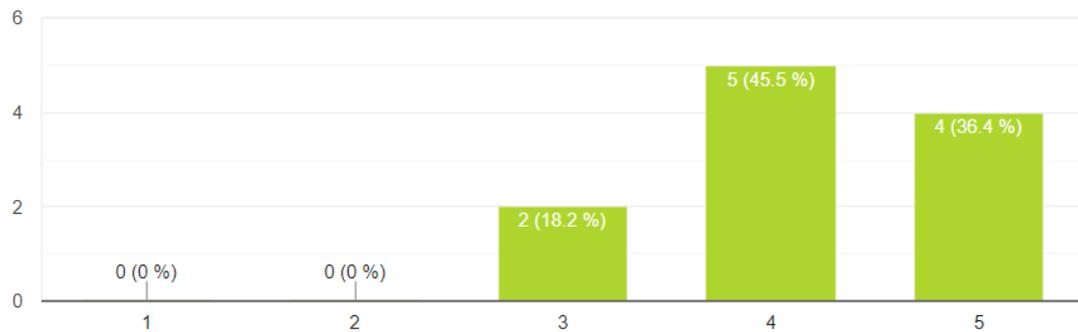
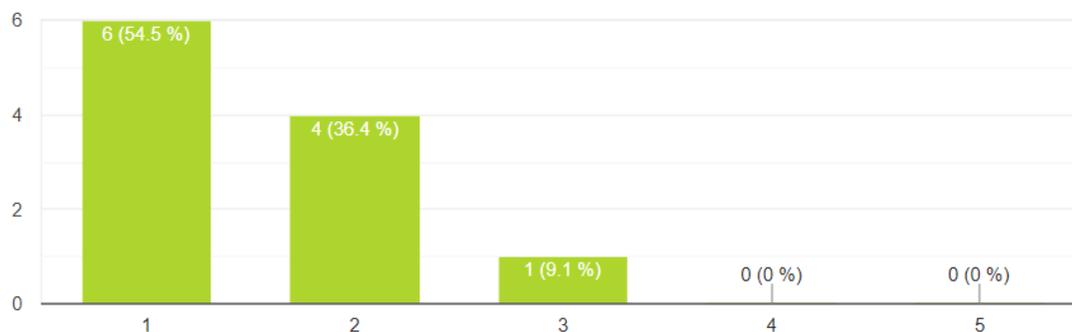


Figura 59. Respuestas pregunta 1 del formulario SUS
 Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

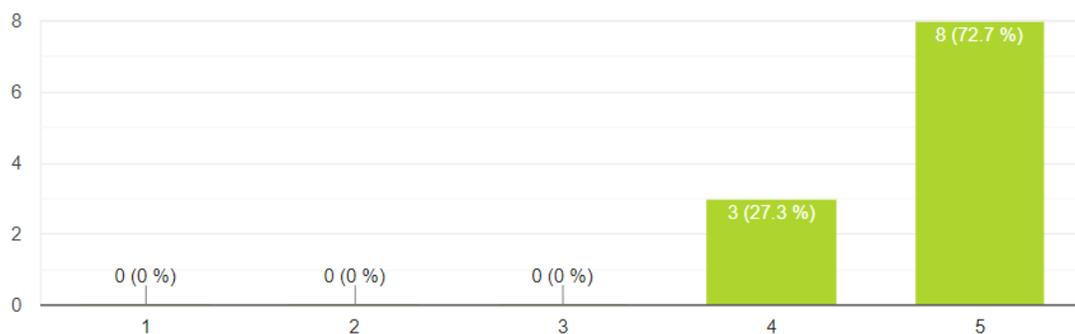
Encuentro esta aplicación innecesariamente compleja

11 respuestas



Creo que la aplicación fue fácil de usar

11 respuestas



Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar esta aplicación

11 respuestas

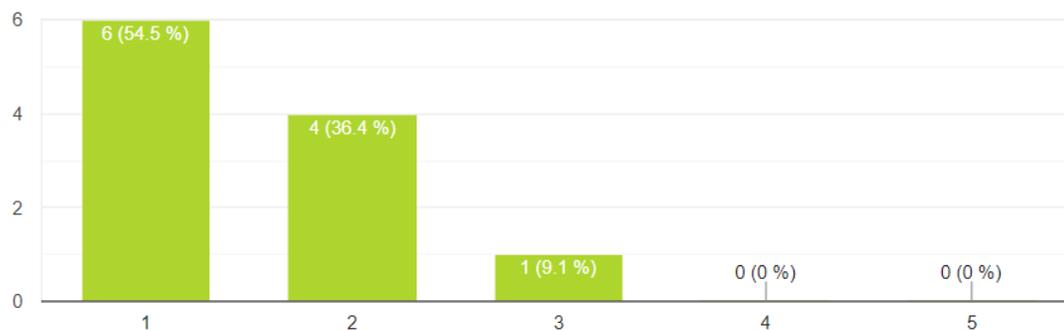
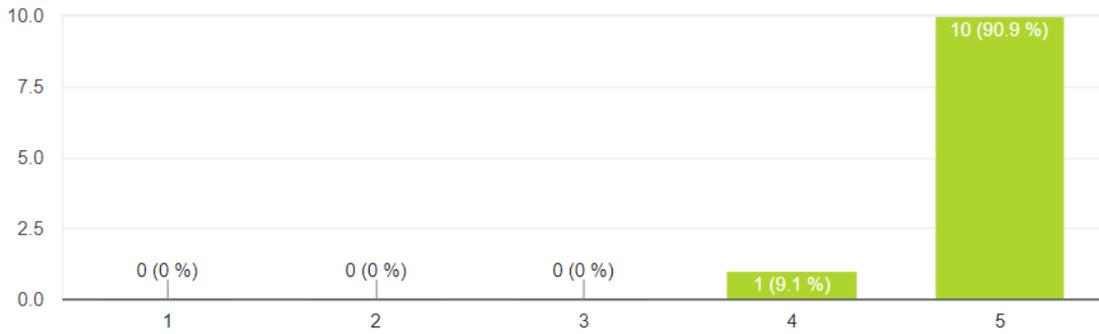


Figura 60. Respuestas preguntas 2 - 4 del formulario SUS
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

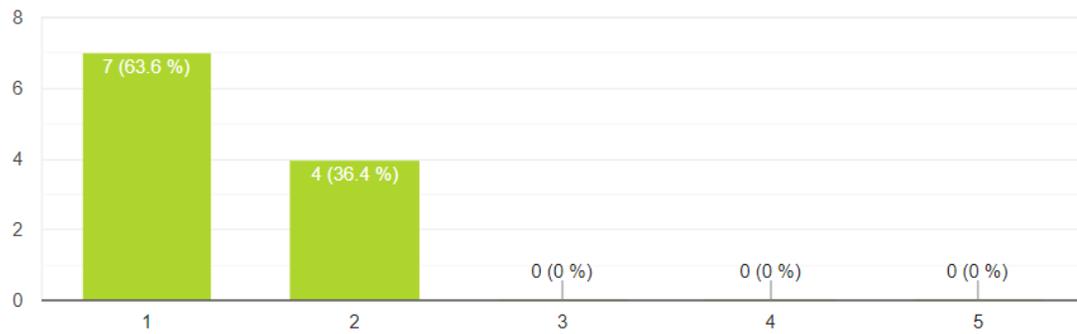
Las funciones de esta aplicación están bien integradas

11 respuestas



Creo que la aplicación es muy inconsistente

11 respuestas



Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar esta aplicación de forma rápida

11 respuestas

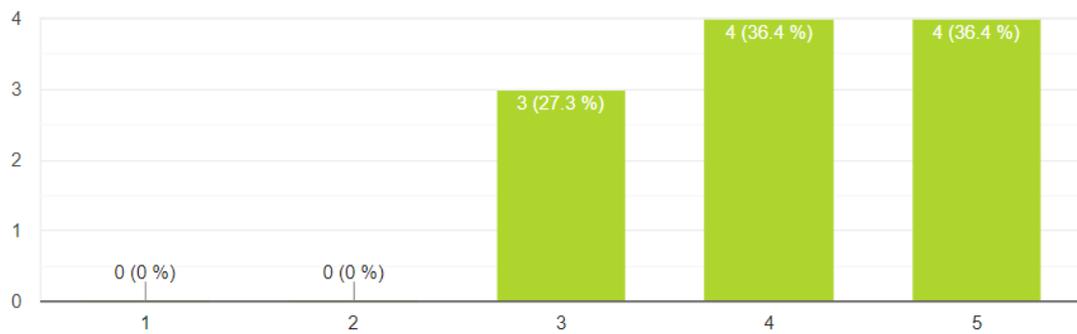
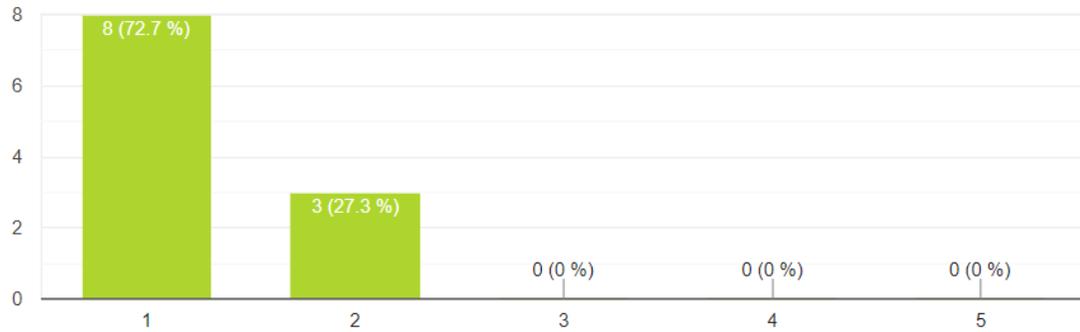


Figura 61. Respuestas preguntas 5- 7 del formulario SUS
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

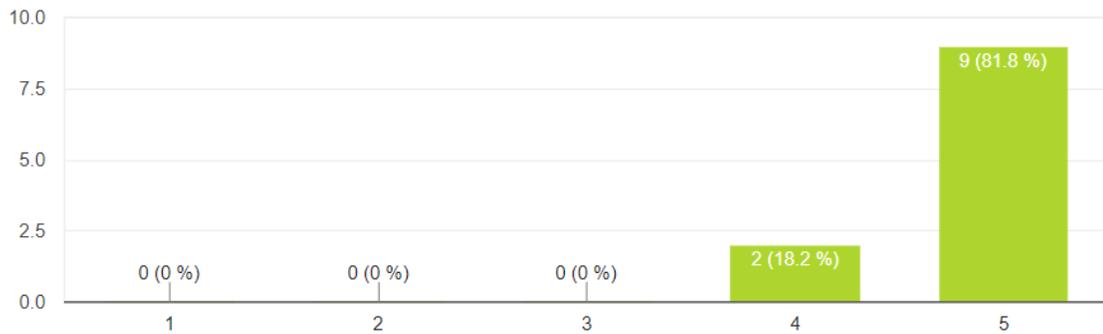
Encuentro que la aplicación es muy difícil de usar

11 respuestas



Me siento seguro de usar esta aplicación

11 respuestas



Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar esta aplicación

11 respuestas

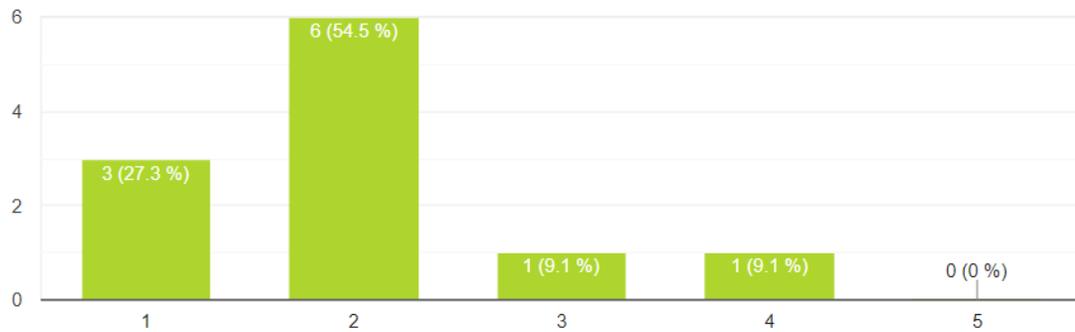


Figura 62. Respuestas preguntas 8 - 10 del formulario SUS
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Anexo E. Especificaciones de casos de uso

| | |
|-----------------|---|
| Caso de uso | Iniciar sesión |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | El usuario debe estar registrado |
| Postcondiciones | El usuario tendrá una sesión dentro de la aplicación |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario, ingresando su usuario Gmail, tendrá una sesión dentro de la aplicación |

| Flujo de eventos | |
|------------------|--|
| 1. | El usuario da clic en el botón ingresar. |
| 2. | De la ventana emergente, selecciona la cuenta de Google con la cuál desea ingresar. |
| 3. | El usuario, una vez verificado si tiene cuenta o no, iniciará la sesión y será redireccionado a la página de inicio. |

| Flujo de eventos alternativos | |
|---|---|
| 1. Cerrar la ventana emergente | |
| 1.1. | El usuario da clic fuera de la ventana emergente o le da al botón de volver en el menú inferior del dispositivo. |
| 1.2. | La aplicación cerrará la ventana emergente y mostrará, nuevamente, la página de inicio. |
| 1.3. | El usuario dará clic al botón ingresar y se repetirán los flujos mencionados anteriormente. |
| 2. El usuario no está registrado en la aplicación | |
| 2.1. | La aplicación detectará de manera automática si el usuario tiene o no una cuenta, de no tenerla, se ejecutará el flujo del caso de uso "registrarse". |

Tabla 5. Especificación de caso de uso Iniciar sesión
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|--|
| Caso de uso | Registro |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Ninguna |
| Postcondiciones | El usuario tendrá una sesión dentro de la aplicación |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario, ingresando su usuario Gmail, se registrará en la aplicación |

| Flujo de eventos | |
|------------------|---|
| 1. | El usuario da clic en el botón ingresar. |
| 2. | De la ventana emergente, selecciona la cuenta de Google con la cuál desea ingresar. |
| 3. | Una vez verificado si tiene cuenta o no, se le notificará que fue registrado en el sistema y será redireccionado a la página de inicio. |

| Flujo de eventos alternativos | |
|--|--|
| 1. Cerrar la ventana emergente | |
| 1.1. | El usuario da clic fuera de la ventana emergente o le da al botón de volver en el menú inferior del dispositivo. |
| 1.2. | La aplicación cerrará la ventana emergente y mostrará, nuevamente, la página de inicio. |
| 1.3. | El usuario dará clic al botón ingresar y se repetirán los flujos mencionados anteriormente. |
| 2. El usuario está registrado en la aplicación | |
| 2.1. | La aplicación detectará de manera automática si el usuario tiene o no una cuenta, de tenerla, se ejecutará el flujo del caso de uso "registrarse". |

Tabla 6. Especificación de caso de uso Registro
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|--|
| Caso de uso | Cerrar sesión |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario podrá cerrar la sesión iniciada en la aplicación |

| Flujo de eventos | |
|------------------|---|
| 1. | El usuario da clic en el botón perfil. |
| 2. | El usuario da clic en el botón cerrar sesión. |
| 3. | La aplicación cerrará la sesión del usuario, lo notificará y lo redireccionará a la pantalla de inicio. |

Tabla 7. Especificación de caso de uso Cerrar sesión

| | |
|-----------------|---|
| Caso de uso | Ver usuarios |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario podrá visualizar una lista de todos los contactos |

| Flujo de eventos | |
|------------------|---|
| 1. | El usuario da clic en el botón perfil. |
| 2. | El usuario da clic en el botón ver usuarios. |
| 3. | El usuario visualizará una lista con todos los contactos. |

Tabla 8. Especificación de caso de uso Ver usuarios
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|--|
| Caso de uso | Contactar usuario |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada y seleccionar que cuenta desea contactar |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario podrá contactar vía Gmail con otro |

| Flujo de eventos | |
|------------------|---|
| 1. | El usuario da clic en el botón contactar. |
| 2. | Llenará los datos solicitados (asunto y cuerpo del correo). |
| 5. | Da clic en el botón enviar correo electrónico. |
| 6. | El usuario recibirá una notificación cuando el correo se envíe correctamente y será redireccionado la lista de contactos. |

| Flujo de eventos alternativos | |
|--|--|
| 1. Error al enviar el correo electrónico | |
| 1.1. | El usuario recibiría la notificación del error y se le redirecciona a la lista de contactos. |
| 1.2. | Se ejecutará el flujo del caso de uso “ver usuarios”. |
| 2. El dispositivo no tiene conexión a internet | |
| 2.1. | Se le notificará al usuario por medio de una vista que el dispositivo no cuenta con conexión a internet. |
| 2.2. | El usuario da clic en el botón volver. |
| 2.3. | Se ejecutará el flujo del caso de uso “ver usuarios”. |

Tabla 9. Especificación de caso de uso Contactar usuario
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|---|
| Caso de uso | Consultar precios del limón Tahití |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario podrá visualizar cuatro gráficos con los precios históricos del limón Tahití en diferentes mercados de Santander. |

| Flujo de eventos | |
|------------------|--|
| 1. | El usuario da clic en el botón “Gráficos”. |
| 2. | El usuario da clic en el botón que corresponda al periodo de tiempo en el que desea ver los precios. |
| 3. | El usuario podrá visualizar todos los gráficos y su información. |

Tabla 10. Especificación de caso de uso Consultar precios del limón Tahití
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|--|
| Caso de uso | Estimar ganancias |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario podrá hacer una estimación de sus ganancias. |

| Flujo de eventos | |
|------------------|--|
| 1. | El usuario da clic en el botón “Escanear”. |
| 2. | El usuario deberá seleccionar el método mediante el cuál desea estimar sus ganancias, ingresando datos manuales o ingresando datos por IA. |
| 3. | El usuario tendrá que ingresar la información que requiera la aplicación para la estimación de sus ganancias. |

Tabla 11. Especificación de caso de uso Estimar ganancias
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|---|
| Caso de uso | Guardar registro |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual los registros realizados por el usuario serán almacenados en la base de datos. |

| Flujo de eventos | |
|------------------|--|
| 1. | Se finalizará la ejecución del flujo “Estimar ganancias” y se ejecutará, automáticamente, el guardado de ese registro. |
| 2. | Se le mostrará un mensaje al usuario mostrándole que el guardado del registro fue exitoso. |

Tabla 12. Especificación de caso de uso Guardar registro
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|--|
| Caso de uso | Contar bultos de limón Tahití |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario, con ayuda de la Inteligencia Artificial, podrá hacer un conteo de bultos. |

| Flujo de eventos | |
|------------------|---|
| 1. | El usuario da clic en el botón “Escanear”. |
| 2. | El usuario da clic en el botón “Ingresar datos por IA”. |
| 3. | El usuario tendrá que seleccionar el método por el cuál desea hacer el conteo, tomar foto o abrir galería. |
| 4. | La Inteligencia Artificial realizará el conteo de los bultos e imprimirá el resultado en pantalla para que el usuario lo vea. |

Tabla 13. Especificación de caso de uso Contar bultos de limón Tahití
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|--|
| Caso de uso | Visualizar historial de registros |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario podrá visualizar el historial de todos los registros que ha realizado junto con información relevante de los mismos. |

| Flujo de eventos | |
|------------------|--|
| 1. | El usuario da clic en el botón "Registros". |
| 2. | El usuario podrá observar, en una lista, toda la información referente a los registros que ha realizado con esa cuenta. En caso de que no haya ningún registro no habrá ninguna lista. |

Tabla 14. Especificación de caso de uso Visualizar historial de registros
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

| | |
|-----------------|---|
| Caso de uso | Abrir hoja de cálculo |
| Actores | Usuario |
| Precondiciones | Tener una sesión iniciada |
| Postcondiciones | Ninguna |
| Descripción | Caso de uso en el cual el usuario podrá acceder a su hoja de cálculo personal en la que se almacenan todos sus registros. |

| Flujo de eventos | |
|------------------|---|
| 1. | El usuario da clic en el botón "Registros". |
| 2. | El usuario da clic en el botón "Abrir y actualizar hoja de cálculo". |
| 3. | El usuario es redireccionado a la hoja de cálculo y podrá observar e interactuar con toda la información. |

| Flujo de eventos alternativos | |
|--|--|
| 1. El dispositivo no tiene conexión a internet | |
| 1.1. | Se le notificará al usuario que el dispositivo no cuenta con una conexión y no podrá ser redirigido. |
| 1.2 | El usuario regresará a la aplicación y podrá seguir haciendo uso de esta. |

Tabla 15. Especificación de caso de uso Abrir hoja de cálculo
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)

Anexo F. Pruebas del modelo de aprendizaje



La cantidad de bultos detectados:

2

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 63. Evaluación 1 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

4

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 64. Evaluación 2 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

3

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 65. Evaluación 3 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

4

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 66. Evaluación 4 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

11

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 67. Evaluación 5 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

10

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 68. Evaluación 6 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



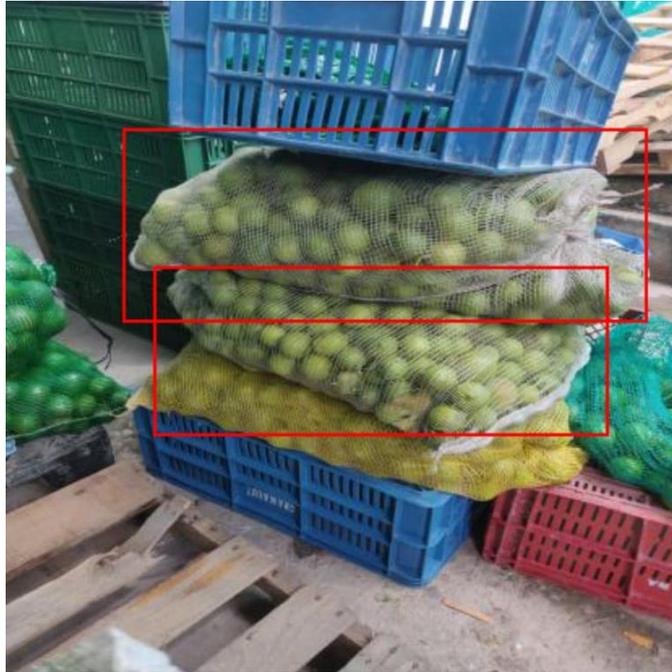
La cantidad de bultos detectados:

5

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 69. Evaluación 7 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

2

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 70. Evaluación 8 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

5 _____

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 71. Evaluación 9 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

4

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 72. Evaluación 10 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

8

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 73. Evaluación 11 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

4

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 74. Evaluación 12 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

7

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 75. Evaluación 13 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

4

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 76. Evaluación 14 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)



La cantidad de bultos detectados:

4 _____

¿Cuánto pesan los bultos en promedio (Kilo)?

Calcular estimado

Figura 77. Evaluación 15 del modelo de aprendizaje
Fuente: (Abuchaibe, J. Gómez, X. 2021)