



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

PROTOTIPO DE CONTROL AUTOMÁTICO DE CALIDAD DE CACAO
USANDO IMÁGENES HIPERESPECTRALES

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO/A EN COMPUTACIÓN

GUIDO RUBEN DUCHI FRANCO

JULIO CÉSAR GUILINDRO ORDÓÑEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me(nos) corresponde exclusivamente; y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Guido Duchi Franco

Julio Guilindro Ordoñez

RESUMEN

La determinación del nivel de fermentación del grano de cacao es de vital importancia para determinar su calidad. El cacao de buena calidad es lo que las industrias extranjeras piden a los productores de esta materia prima. Debido a que el análisis de fermentación actual en Ecuador es un proceso de alto nivel subjetivo y varía muchísimo del criterio y experiencia del experto que lo realiza, se encontró que es necesario proponer una alternativa la cual elimine dicho error humano.

Para esto se decidió crear un prototipo de máquina de clasificación automática para la fermentación de los granos de cacao que elimine por completo la subjetividad y error de un experto. Esta máquina usa la tecnología de imágenes hiperespectrales para obtener información de los granos de cacao mediante un análisis de espectros, dicha información será procesada por un algoritmo de reconocimiento, el cual determinará el nivel de fermentación de los granos ingresados dentro de ella.

La máquina presenta 5 componentes principales: Un CPU industrial, cámaras de alta velocidad para la visión por computadora, una Raspberry Pi Zero W, una pantalla táctil LCD y un espectrógrafo.

Además de construir el prototipo también se realizó la obtención de datos y etiquetado de granos de cacao por parte de los expertos de forma que se pueda entrenar al algoritmo de reconocimiento.

La obtención de datos se la hizo construyendo un sistema web que recopiló fotos de granos de cacao partidos por la mitad. Estos granos fueron presentados a 21 expertos, los cuales evaluaron la fermentación de ellos basados en su color.

Los resultados obtenidos fueron alrededor de 1200 evaluaciones de fermentación para 220 granos de cacao.

El prototipo principal por otro lado fue capaz de realizar el escaneo de objetos y mostrar un análisis de espectros de luz visible el cual mostraba la reflectividad de cada uno de estos objetos en distintas longitudes de onda de luz.

Palabras Clave: Granos, Cacao, Hiperespectral, Fermentación, Espectrógrafo.

ABSTRACT

Determining the level of fermentation of the cocoa bean is of vital importance to determine its quality. Good quality cocoa is what foreign industries ask from producers of this primary commodity. Because the current fermentation analysis in Ecuador is a highly-subjective process and varies greatly from expert to expert based on their criteria and experience, it is necessary to propose an alternative analysis method which eliminates this human error.

To solve this problem it was decided to create a prototype of an automatic classification machine for the fermentation of cocoa beans which completely eliminates the subjectivity and error of the expert. This machine uses hyperspectral imaging technology to obtain information on cocoa beans through a spectrum analysis, this information will be processed by an artificial intelligence recognition algorithm, which will determine the level of fermentation of the beans analyzed by it.

The machine has 5 main components: an industrial CPU, high-speed cameras for computer vision, a Raspberry Pi Zero W, an LCD touch screen and a spectrograph.

In addition to building the prototype, the data collection and tagging of cocoa beans was also carried out by the experts in order to train the recognition algorithm.

The data was obtained by building a web system that collected photos of cocoa beans cut in half. These beans were presented to 21 experts, who evaluated their fermentation level based on their color.

The results obtained were about 1200 fermentation evaluations for 220 cocoa beans. The main prototype on the other hand was able to perform the scanning of objects and displayed an analysis of visible light spectra which showed the reflectivity of each of these objects in different wavelengths of light.

Keywords: *Grains, Cocoa, Hyperspectral, Fermentation, Spectrograph.*

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	9
Descripción del problema	10
Objetivos	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	11
Marco Teórico	11
METODOLOGÍA	14
Información sobre el sistema físico	14
Información sobre la plataforma virtual	17
Metodología para adaptar el CPU Industrial	18
Metodología para el desarrollo de la plataforma virtual	21
Modelo Experto	22
Modelo Pepa	22
Modelo Survey	23
Modelo Respuesta	24
Modelo SurveyExperto	25
Generación y población de información dentro de la base de datos.	26
Aplicación web Cliente Front-end.	28
Página de Autenticación	29
Página de Encuestas	30
Aplicación para control del prototipo.	34
ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
Resultados obtenidos al conectar las cámaras al CPU Industrial	37
Resultados obtenidos de la Aplicación Web	38
Resultados obtenidos del prototipo	39
Conclusiones	47
Recomendaciones	48
Anexo A1	51
Anexo A2	56

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ARM	(procesador) Advanced RISC Machine
LCD	(pantalla) Liquid Crystal Display
RGB	(códigos de color) Red Green Blue

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1. CPU Industrial TS-7800-V2	18
Figura 2.1.2. Cámara monocromática DMK 72BUC02	19
Figura 2.1.3. Cámara monocromática DMK 33UP2000	19
Figura 2.1.4. Pantalla táctil junto con Raspberry Pi Zero W	20
Figura 2.3.1. Menuconfig	22
Figura 2.4.1.1. Esquema del Modelo Experto	26
Figura 2.4.2.1. Esquema del Modelo Pepa	27
Figura 2.4.3.1 Esquema del Modelo Survey	27
Figura 2.4.4.1. Esquema del Modelo Respuesta	28
Figura 2.4.5.1. Esquema del Modelo SurveyExperto	29
Figura 2.5.1. Tomando la fotografía de los granos	30
Figura 2.5.2. Distribución de granos en las encuestas	31
Figura 2.6.1.1. Página principal de Autenticación	32
Figura 2.6.1.2. Inicio de Sesión Incorrecto	33
Figura 2.6.2.1. Página de Encuestas cuando se envía una respuesta al servidor	34
Figura 2.6.2.2. Alert presentado al terminar encuesta	35
Figura 2.6.2.3. Arquitectura completa del sistema Web en la nube usando AWS y mLab	37
Figura 2.6.2.4. Aplicación Snapper! que controla el prototipo	38
Figura 2.6.2.5. Análisis de espectro de la última imagen tomada	39
Figura 3.2.1. Número de registros obtenidos	42
Figura 3.3.1. Vista del prototipo Final	43
Figura 3.3.2. Escaneo de caja roja	44
Figura 3.3.3. Análisis Espectral de la caja roja	44
Figura 3.3.4. Escaneo de placa azul	45
Figura 3.3.5. Análisis Espectral de la placa azul	46
Figura 3.3.6. Escaneo de cubo verde	47
Figura 3.3.7. Análisis Espectral del cubo verde	47

Figura A2.3.1. Menú principal de Snapper.	61
Figura A2.3.2. Aplicación Snapper mostrando en tiempo real la imagen de la cámara USB.	62
Figura A2.3.3. Aplicación Snapper mostrando el análisis de la última imagen tomada.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.3.1. Clases de granos de cacao divididos por su calidad, basados en el color	16
Tabla 3.1.1. Análisis de Costos relacionados para el desarrollo de la solución	41

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como finalidad la determinación del nivel de calidad del grano de cacao mediante el uso tecnología de imágenes hiperespectrales. Para ser más específicos, poder definir el estado actual de la fermentación de un grupo de granos de cacao de un lote determinado, analizando imágenes hiperespectrales tomadas por una cámara que se le ha añadido un espectrógrafo, la cual es capaz de obtener el espectro de cada uno de los píxeles de la imagen para poder determinar diferencias entre cada uno de los estados de fermentación de todo el conjunto de granos de cacao, y de esta forma mejorar la calidad de producción.

Lo que define la calidad de producción no es exactamente un mayor grado de fermentación o uno menor, sino más bien el cliente. Existen distintos clientes disponibles en el mercado, y cada uno de ellos tiene requerimientos específicos a la hora de adquirir granos de cacao dependiendo de su uso. El uso más común, y en general el que definió al Ecuador como destino culinario, es la producción de chocolate, e inclusive para esto, distintos clientes requieren distintos grados de fermentación del grano, por ejemplo para productores enfocados en producir un chocolate amargo lo preferible es adquirir un conjunto de granos con un grado de fermentación mayor.

Actualmente en el país, expertos son los encargados de decidir las distintas variables que definen la calidad de los granos, entre ellas la fermentación. El proceso de evaluación de la fermentación es bastante rústico, manual y lleno de subjetividad, desde el corte del grano por la mitad hasta la visualización al ojo de sus impurezas usando la luz del sol. Por esta razón, la idea principal de esta investigación es automatizar el proceso de evaluación para así no solo reducir el sesgo que puede presentarse como error humano, sino también poder sacar conclusiones acerca de la

forma en la que los expertos evalúan los granos. Para poder lograr nuestro objetivo de automatización del proceso de evaluación es necesario que una computadora sea la que determine el estado de fermentación de los granos. A esta máquina se debería alimentar con la mayor cantidad de datos posibles provenientes de los análisis de expertos para que pueda tomar de dichos análisis de una manera justa y no parcializada usando técnicas de inteligencia artificial.

1.1 Descripción del problema

Para analizar esta problemática es necesario analizar las causas previamente mencionadas. En el presente, una única empresa del estado es la que sirve como filtro principal para controlar la calidad de todos los productos a exportar. El análisis es bastante manual, con el uso de un objeto cortopunzante se parte el grano del cacao por la mitad, y luego de ser pesada el experto observa la coloración del grano para definir su estado de fermentación. Por ende, el estado actual de fermentación del grano del cacao queda al criterio del experto de turno, quien, fuera de temas éticos, podría cometer errores debido a factores externos como lo es la iluminación del ambiente, y pocas veces la decisión de él tiende a ser distinta a la del control definido dentro de la misma empresa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Incrementar el nivel de asertividad de calidad de cacao por medio de un sistema de control de calidad basado en imágenes hiperespectrales para reducir los costos asociados a la reestructuración de lotes de cacao exportación.

1.2.2 Objetivos Específicos

Agilizar el proceso de control de calidad de los granos del cacao automatizando todo el proceso que involucra actualmente su análisis.

Entrenar a una computadora con la ayuda de expertos en el área para que esta pueda ser capaz de tomar decisiones lo más exactas posibles.

Mejorar la calidad de producción de los granos del cacao para su exportación y así evitar estar sujetos a sanciones de algún tipo.

1.3 Marco Teórico

El cacao es un fruto usado mayormente en la elaboración del chocolate y derivados. Debido a la alta demanda de este dulce alrededor del mundo su producción en masa se ha vuelto bastante común. A partir de sus semillas se extraen productos como el polvo de cacao y la manteca de cacao, los cuales mezclados junto a la leche y azúcares añadidos producen distintos tipos de chocolates.

El cacao es conocido como el producto símbolo de nuestro país capaz de ubicarnos como un destino culinario [3], y actualmente existen dos tipos principales de Cacao que sirven para exportación y comercio, las cuales son el Cacao Fino y el Cacao CCN51.

Desde hace más de una década atrás se buscó una forma de unificar la calidad de este basados en diferentes parámetros [4], y esta ha sido sujeta a muchas revisiones con la finalidad de no tan solo exportar un mejor cacao, sino también para que sirva de base para todos los agricultores en nuestro país [4].

Con la creciente demanda de cacao no tan sólo en el Ecuador sino también alrededor del mundo muchos agricultores dentro de nuestro país prefieren cambiarse al sembrío de cacao [2], lo cual requiere una enorme inversión de recursos, desde tiempo hasta espacio físico, con la finalidad de obtener una

mejor calidad de su grano, o en otras palabras, dejando como resultado una mayor ganancia.

Por esta razón se genera la necesidad de tener un alto grado de certeza al momento de asegurar la calidad de los granos producidos por los agricultores para ser exportados.

La solución a dicha problemática es basada en el uso de imágenes hiperespectrales, las cuales evolucionaron de ser tecnologías encontradas sólo en satélites y aeronaves a una herramienta que sirve en un área bastante grande como lo es el control de procesos, monitoreo, inspecciones, control de calidad, etc. [6]

Lo interesante de las imágenes hiperespectrales es que añaden mucha más información al análisis de la imagen por medio de la intensidad de luz reflejada, el espectro basado en la posición de cada imagen. [6]

Las imágenes hiperespectrales poseen desde cientos a miles espectros dentro de ellas y pueden ser capaz de detectar con precisión sólidos y líquidos dentro de una escena.[6]

Existe extensa literatura donde se hace uso de las imágenes hiperespectrales al momento de realizar controles de calidad en alimentos como las manzanas y el maíz.

Todas ellas se basan en el estudio de colores y reconocimientos de patrones basado en lo que se quiere saber de dichas frutas (grado de humedad, fermentación, detección de plagas, etc).

La siguiente tabla muestra las clases de granos de cacao divididos por su calidad, basados en el color.

Requisitos	Cacao Fino			Cacao CCN51		Método de Ensayo
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo I	Tipo II	
Humedad	7	7	7	7	7	NTE INEN-ISO 2291
Peso de 100 granos	>130	>120 a 130	100 a 120	>125	110- 125	a
Cantidad de granos fermentados	75	65	53	68	55	NTE INEN-ISO 1114
Cantidad de Granos Violetas	15	21	25	18	26	NTE INEN-ISO 1114
Cantidad de Granos Mohosos	1	2	4	2	4	NTE INEN-ISO 1114
Total de Granos	100	100	100	100	100	
Material Ajeno al cacao	1	1	1	1	1	b
Cantidad de Granos defectuosos	0	1	3	1	3	b

Tabla 1.3.1 Clases de granos de cacao divididos por su calidad, basados en el color.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Este capítulo refiere al planteamiento, tipo de investigación, y requerimientos necesarios del método con el cual se planea solucionar la problemática del control de calidad de los granos del cacao mediante el uso de imágenes hiperespectrales.

Para solucionar el problema se deben de tomar en cuenta varios puntos. Es necesario tener un sistema físico que realice el análisis de los granos de cacao. Este sistema debe ser alimentado con información previa de análisis de fermentación de granos realizados por expertos en el área, de esta forma usando técnicas de Inteligencia Artificial podemos realizar el etiquetado y reconocimiento automático del nivel de fermentación de nuevos granos que se quieran analizar.

2.1 Información sobre el sistema físico

El sistema físico presenta 5 componentes principales: Un CPU industrial, cámaras de alta velocidad para la visión por computadora, una Raspberry Pi Zero W, una pantalla táctil LCD [ver Figura 2.1.4] y un espectrógrafo.

El CPU industrial es de la serie TS-7800-V2 [ver Figura 2.1.1] ayudará en el control del sistema y ejecutando dentro de él los algoritmos de reconocimiento necesarios para realizar el análisis de los granos. La razón por la cual se escogió este CPU industrial es que presenta puertos USB 3.0 necesarios para el funcionamiento una de las cámaras de alta velocidad, además presenta un procesador Marvell Armada 385 Dual Core de 1.3 GHz y arquitectura ARMv7 (Cortex A-9) [ver Anexo A1] el cual es lo suficientemente poderoso para el procesamiento y reconocimiento de los granos de cacao en un tiempo razonable.

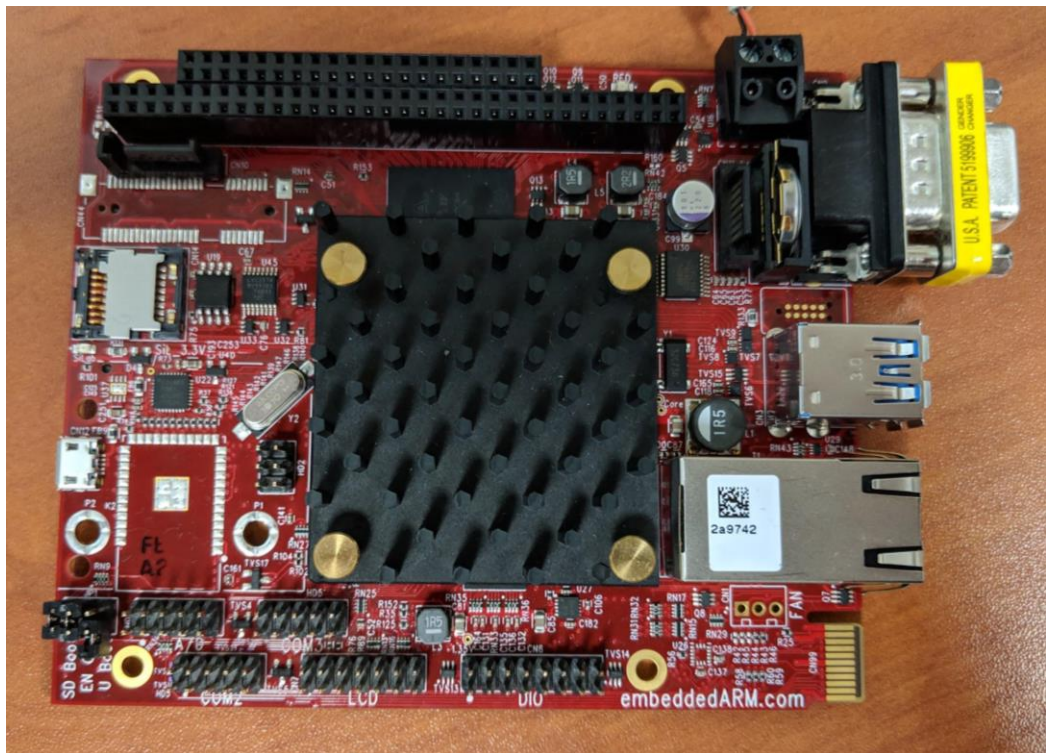


Figura 2.1.1. CPU Industrial TS-7800-V2. Autoría propia.

Las cámaras que se utilizaron son la DMK 33UP2000 (USB 3.0) [ver Figura 2.1.3] y DMK 72BUC02 (USB 2.0) [ver Figura 2.1.2] de la compañía The Imaging Source, ambas son cámaras monocromáticas de alta velocidad que ayudarán captando la información de los granos de cacao en distintos espectros de luz para luego realizar su debido procesamiento.



Figura 2.1.2. Cámara monocromática DMK 72BUC02. Autoría propia.



Figura 2.1.3. Cámara monocromática DMK 33UP2000. Autoría propia.



Figura 2.1.4. Pantalla táctil junto con Raspberry Pi Zero W. Autoría propia.

2.2 Información sobre la plataforma virtual

También se diseñó e implementó un sistema web para recabar datos sobre el análisis de fermentación por parte de los expertos en calidad. El sistema web consiste de 4 subsistemas: un servidor back-end, un servidor front-end, un repositorio de imágenes RGB de granos de cacao y una base de datos noSQL. El primer subsistema es una aplicación web servidor back-end que ayudará a responder los requests de los clientes y la recuperación de la información de la base de datos.

El segundo subsistema es una aplicación web front-end, la cual es una página web estática donde se muestra una encuesta con 2 preguntas y una imagen de un grano de cacao, este sistema permitirá al experto poder realizar el debido análisis de dicha pepa y registrar su respuesta.

El tercer subsistema es un repositorio en línea de imágenes RGB de los granos de cacao. Este posee alrededor de 440 granos de cacao partidos por la mitad que provienen de 4 regiones del país: El Oro, Los Ríos, Guayas y Manabí.

El cuarto subsistema es una base de datos MongoDB (noSQL) hosteada en el sitio mLab.com que va a guardar toda la información de los expertos, granos de cacao, encuestas y respuestas que se generen por las aplicaciones web. Se escogió una base de datos NoSQL debido a que es una forma rápida y fácil de generar modelos complejos que nos permitan almacenar los datos que queramos ofreciendo una interfaz JSON que nos facilita la comunicación y guardado de los datos.

2.3 Metodología para adaptar el CPU Industrial

El CPU Industrial originalmente viene con los requerimientos mínimos para que su sistema operativo modificado arranque, este es un Debian Stretch y un Kernel propio. Para adaptar dicho CPU a los requerimientos y necesidades del proyecto se deben realizar cambios a cada uno de los componentes mencionados en este documento. [ver Anexo A2: Lista de pasos para instalar drivers de camaras USB al CPU industrial TS-7800-V2]

En la placa, lo primero que debe hacerse es colocar el pin en el “SD Boot”. Una vez realizado esto se debe descargar tanto el kernel para modificar como el sistema operativo de la placa directamente desde el sitio del proveedor. Para encontrar el sistema operativo correcto se debe buscar debajo del nombre de la placa TS-7800-V2.

El sistema operativo ya viene con su propio kernel, y estos se deben descomprimir en una memoria microSD en conjunto. Para comprobar que dicho procedimiento funcionó se podría insertar la memoria directamente en la placa y probarla.

Una vez que esto se haya comprobado se procederá a recompilar el kernel y así habilitar los módulos mínimos necesarios para que pueda detectarse y usarse cualquier cámara USB conectada. Una vez finalizado, de igual manera se debe descomprimir el kernel modificado dentro de la memoria microSD sobrescribiendo los archivos existentes. Para probar que el procedimiento

funcionó de igual manera se la puede insertar de vuelta en la placa y asegurar que no existan fallos al arrancar. Opcionalmente se podría usar una webcam junto al comando streamer para asegurar que se pueda capturar una imagen.

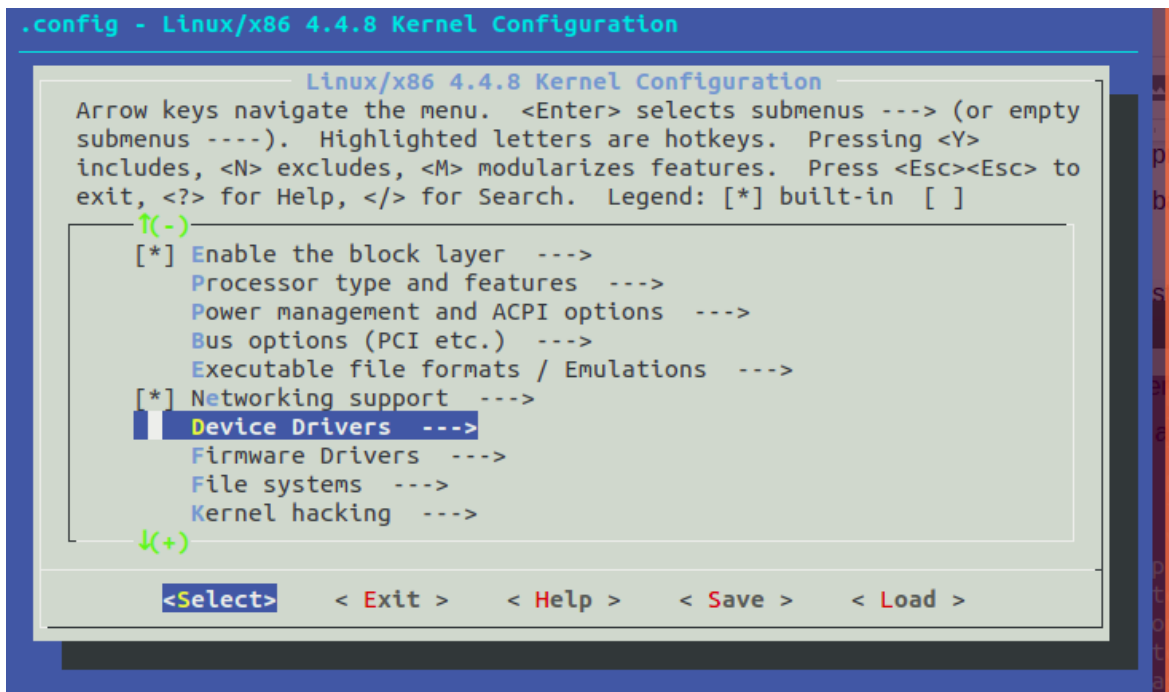


Figura 2.3.1. Menuconfig. Autoría propia.

El siguiente paso necesario es actualizar las librerías para que se instale una versión más reciente de video4linux, esto es debido a que la versión que viene instalada por default, según la documentación de la misma, no permitiría el uso de cámaras de alta velocidad. Para realizarlo se debe actualizar el repositorio de paquetes de Debian Stretch, y cambiarlo a Debian Buster, y así actualizar el video4linux sin realizar cambios en el sistema operativo ya instalado.

Finalizado el procedimiento anterior se procede a instalar las librerías de la cámara y configurarla para que pueda funcionar en conjunto al CPU Industrial. Desde el github de la empresa que desarrolló las cámaras se puede clonar el repositorio directo al CPU Industrial. Para construir y correr los drivers y

programas por default existen dependencias que deben instalarse previamente, estas dependencias se ven explicadas en el README del repositorio mismo.

Lo siguiente es conectar las cámaras al CPU Industrial, y para realizarlo se necesitaría usar un Powered HUB con USB3.0 y 5V/2.0A, para así evitar incompatibilidades con el voltaje y/o corriente. Ya conectadas, se procederá a seguir las instrucciones en el manual del proveedor. Se deberán actualizar las reglas del CPU y además actualizar el firmware de las cámaras. Realizado todos los pasos el CPU debería ser capaz de comunicarse correctamente con ellas y así tomar fotos.

La Raspberry Pi Zero W se usó como un cliente de VNC para la conexión con el CPU industrial, esto se debió a que el CPU industrial carece de una interfaz para poder conectar algún tipo de monitor, se tuvo que instalar un entorno visual al sistema operativo Debian y a la vez un servidor de control remoto (VNC) para poder acceder a esta interfaz gráfica.

Se aprovechó el módulo WiFi interno de la Raspberry Pi Zero W para poder crear un access point al cual el CPU industrial se podría conectar, creando una red local inalámbrica entre los dos facilitando la conexión al servidor VNC y eliminando latencias causadas por redes ocupadas, creando una red solo entre los dos.

Lamentablemente el CPU industrial carecía de un módulo WiFi, así que se le tuvo que adaptar uno. El módulo WiFi usado fue el Edimax EW7811UN, este módulo es un pequeño módulo USB el cual funciona con los drivers internos de Linux RTL8192CU. Estos drivers tuvieron que ser instalados en el CPU industrial de la misma forma que los drivers de las cámaras USB y tuvieron que ser probados y configurados para asegurar su funcionamiento.

2.4 Metodología para el desarrollo de la plataforma virtual

La plataforma virtual va a ser un sistema web que va a permitir a los expertos en calidad de cacao realizar un análisis de fermentación de varios granos de cacao.

Para construir dicho sistema web, se decidió usar un stack de desarrollo de tipo MEVN. El MEVN stack como sus siglas lo indican, constituyen usar MongoDB, Express, VueJS y NodeJS.

La razón del uso de este stack es que facilita mucho el desarrollo de las interfaces de usuario gracias al framework VueJS, el cual se caracteriza en ser fácilmente entendible, además de ofrecer el acceso a componentes, el cual nos ayuda al rápido desarrollo promoviendo reusar código.

Otra razón es que todas las herramientas que usa son software libre de código abierto con comunidades bastante grandes que ofrecen soporte y mucha documentación en línea.

Para el desarrollo del back-end se usó el lenguaje de programación JavaScript sobre el entorno de ejecución NodeJS. De la mano de NodeJS está el framework Express el cual ayudó en el desarrollo de una API la cual servirá como una interface de comunicación entre la aplicación cliente front-end y el servidor back-end.

El API consta en su mayoría de llamadas GET y POST que se hacen sobre el servidor back-end, los cuales al ser solicitados ejecutan updates, inserts y queries sobre modelos de Mongoose. Estos modelos de Mongoose facilitan la traducción de objetos de la base de datos MongoDB a objetos de JavaScript dentro del código. Esto quiere decir que cualquier cambio que se haga dentro de dichos modelos de Mongoose, una vez sean guardados, van a ser representados como cambios dentro de la base de datos de MongoDB.

Los modelos definidos fueron los siguientes:

- Experto
- Pepa
- Respuesta
- Survey
- SurveyExperto

2.4.1 Modelo Experto

El modelo Experto va a guardar la información personal de cada uno de los expertos en calidad del cacao. La información que se guardó dentro de la base de datos fue el nombre completo del experto, su usuario para ingresar dentro del sistema, una contraseña hasheada y el lugar o ente para el que trabaja, junto con los respectivos timestamps de actualización y creación. [ver Figura 2.4.1.1]

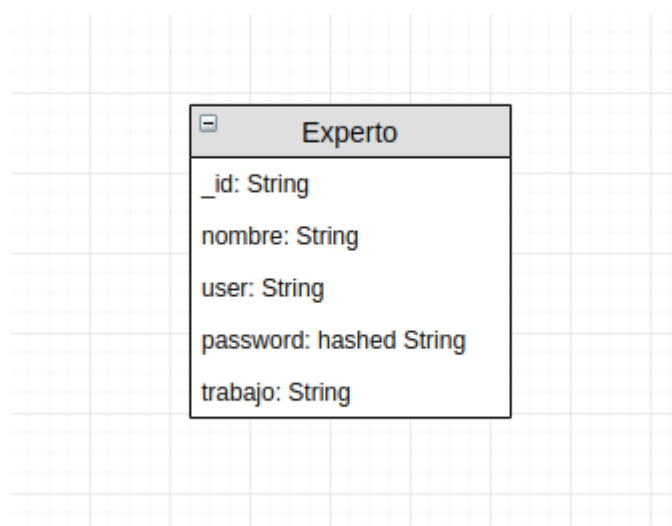


Figura 2.4.1.1. Esquema del Modelo Experto. Autoría propia.

2.4.2 Modelo Pepa

El modelo Pepa va a guardar la información de los granos de cacao. La información que se guardó dentro de la base de datos fue la ruta de la imagen dentro del repositorio, un nombre único de pepa el cual está

dado por el número de lote de dónde provino y en qué posición se encontró, además del nombre de la región de donde fue sacado el grano, junto con los respectivos timestamps de actualización y creación. [ver Figura 2.4.2.1]

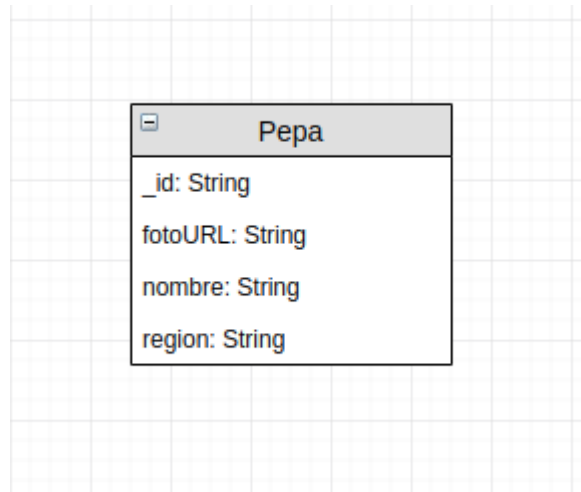


Figura 2.4.2.1. Esquema del Modelo Pepa. Autoría propia.

2.4.3 Modelo Survey

El modelo Survey va a guardar la información de las encuestas que se tomarán a los expertos. La información que se guardó dentro de la base de datos fue el nombre de dicha encuesta, además de un arreglo con la información de los granos que pertenecen a dicha encuesta, junto con los respectivos timestamps de actualización y creación. [ver Figura 2.4.3.1]

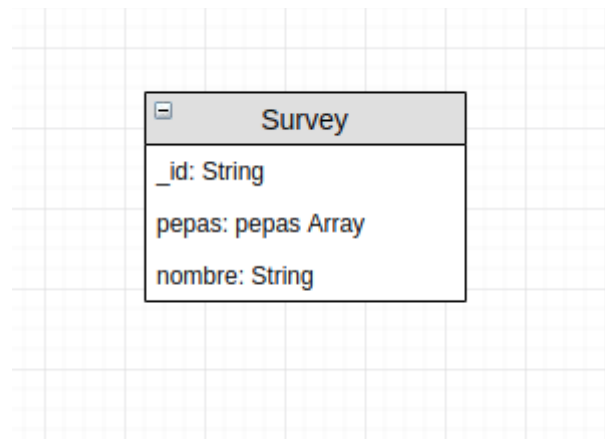


Figura 2.4.3.1 Esquema del Modelo Survey. Autoría propia.

2.4.4 Modelo Respuesta

El modelo Respuesta va a guardar la información de las respuestas que generan los expertos al llenar una encuesta, existe una respuesta por cada grano que es evaluado. La información que se guardó dentro de la base de datos fue el nivel de fermentación que los expertos evaluaron, el tipo de grano que evaluaron los expertos, la referencia al grano de cacao que fue evaluado, la referencia al experto que realizó el análisis y la referencia a la encuesta de donde se generó la respuesta, junto con los respectivos timestamps de actualización y creación. [ver Figura 2.4.4.1]

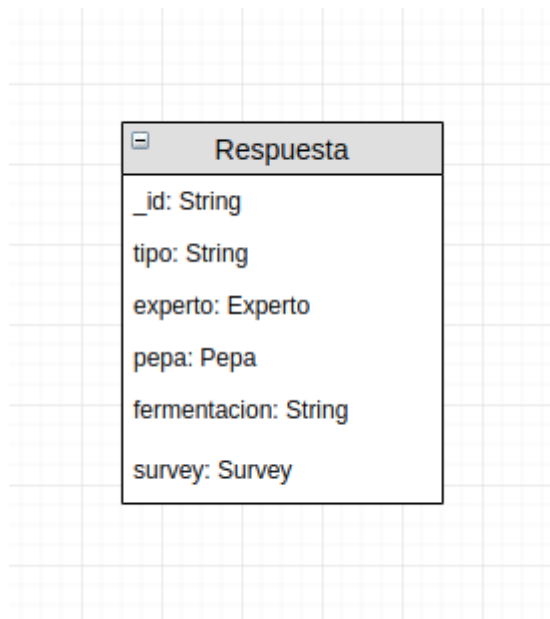


Figura 2.4.4.1. Esquema del Modelo Respuesta. Autoría propia.

2.4.5 Modelo SurveyExperto

Finalmente el modelo SurveyExperto va a guardar la información sobre cuál encuesta le toca responder a cuál experto. La información que se guardó dentro de la base de datos fue la referencia al experto y la referencia a la encuesta que debe responder, además se guardó una bandera de nombre activo que nos permite saber si esa encuesta se encuentra activa y es necesario mostrarsela al experto cuando inicie sesión o no, todo esto junto con los respectivos timestamps de actualización y creación. [ver Figura 2.4.5.1]

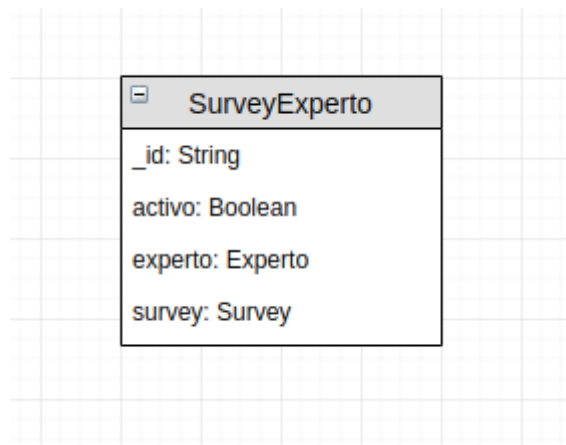


Figura 2.4.5.1. Esquema del Modelo SurveyExperto. Autoría propia.

2.5 Generación y población de información dentro de la base de datos.

Para que los expertos puedan realizar las encuestas es necesario tener información previa dentro de la base de datos, información sobre los granos y la distribución de estos dentro de las encuestas.

Para obtener la información de los granos (una foto RGB y su región) se realizaron 20 escaneos por lotes de 22 granos cada uno. La finalidad de los escaneos era obtener los cubos hiperespectrales a partir de los granos para poder realizar el entrenamiento del algoritmo de reconocimiento. Junto al escaneo se obtenía una foto RGB tomada por una cámara profesional para asegurar la fidelidad de la imagen. [ver Figura 2.5.1] Dicha foto era cortada en 22 pedazos que correspondían a cada una de los granos dentro del lote. Al final se obtuvieron 440 granos con su respectiva foto RGB, cubo hiperespectral y región, los cuales fueron ingresados a la base de datos de forma automática usando scripts.



Figura 2.5.1. Tomando la fotografía de los granos. Autoría propia.

Una vez que se tienen los granos de cacao dentro de la base de datos es necesario generar las encuestas a partir de ellos. Para esto, se decidió generar 4 encuestas de 110 granos seleccionando equitativamente granos de cada región, donde se alternaban de 27 a 28 gramos por región. [ver Figura 2.5.2] De esta forma se asegura tener muestras lo más variadas posibles.

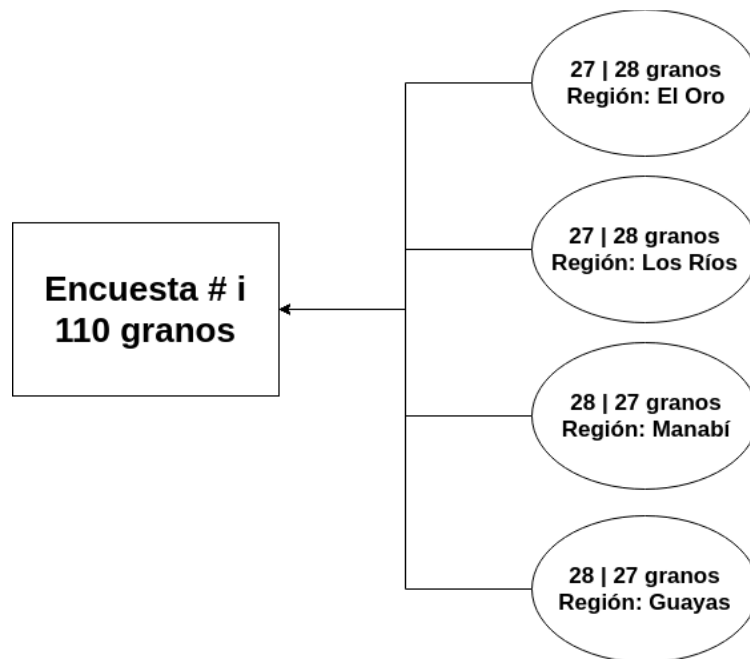


Figura 2.5.2. Distribución de granos en las encuestas. Autoría propia.

Una vez establecidas las encuestas, se las debía de asignar a los expertos, para eso se hace uso del modelo ExpertoSurvey el cual permitirá guardar la información de cuales encuestas deben responder los expertos y su estado actual.

Se asignaron 5 expertos a cada una de las 4 encuestas, teniendo un total de 20 expertos calificando los granos de cacao.

2.6 Aplicación web Cliente Front-end.

Esta es una aplicación web desarrollada usando el Framework VueJS basada en componentes. La aplicación front-end se comunica directamente con la aplicación back-end haciendo uso del API de Express para poder agregar o recuperar datos de la base MongoDB.

Dentro de esta aplicación web se tienen dos páginas principales, la página de Autenticación y la página de Encuestas.

2.6.1 Página de Autenticación

La página de Autenticación está compuesto de un formulario en el cual el experto puede ingresar su usuario y contraseña e ingresar al sistema. [ver Figura 2.6.1.1] Está validado por si se ingresan contraseñas o usuarios incorrectos, además de mostrar alertas cuando un experto no posee una encuesta asignada a responder. [ver Figura 2.6.1.2]



Nombre de usuario 0 / 15

Contraseña 0

INICIAR SESIÓN

Figura 2.6.1.1. Página principal de Autenticación. Autoría propia.

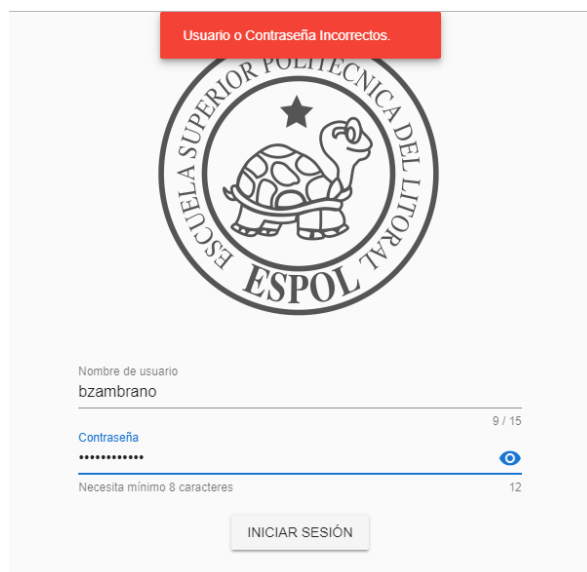


Figura 2.6.1.2. Inicio de Sesión Incorrecto. Autoría propia.

Una vez se haya autenticado el experto de forma correcta se generará una sesión para él. Si existe dicha sesión creada se le dará acceso a la página de Encuestas, caso contrario lo redirigirá a la página de Autenticación.

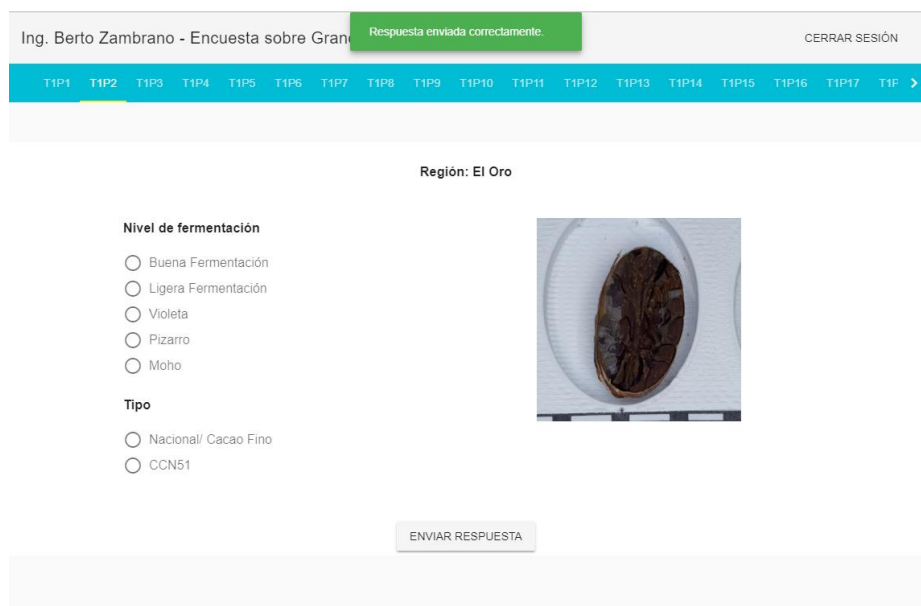
2.6.2 Página de Encuestas

Antes de ingresar a la página de encuestas el sistema chequea a qué encuesta está asignado el experto que acaba de autenticarse, se comunica con el servidor back-end el cual le devuelve la información necesaria para cargar dicha encuesta (arreglo de granos de cacao y la información de la encuesta).

La página de encuestas muestra la información de la encuesta, además de unos radiobuttons que le permiten al experto realizar el análisis de fermentación del grano y determinar su tipo. Las opciones presentadas en esos radiobuttons pertenecen a la clasificación normalmente usada por los evaluadores de calidad y presenta 5 categorías: Buena fermentación, ligera fermentación, violeta, pizarro y moho, mientras que

el tipo de grano presenta sólo dos categorías: Nacional/ Cacao Fino y CCN51. [ver Figura 2.6.2.1]

Una vez que se seleccionan las categorías el experto tendrá que seleccionar el botón de “Enviar respuesta” el cual mandará la respuesta escogida por el experto al servidor back-end donde se guardará en la base de datos MongoDB y lo moverá automáticamente al siguiente grano a calificar.



The screenshot shows a web interface for a survey. At the top, there is a header with the text "Ing. Berto Zambrano - Encuesta sobre Granos" and a green notification box that says "Respuesta enviada correctamente." To the right of the notification is a "CERRAR SESIÓN" button. Below the header is a navigation bar with tabs labeled T1P1 through T1P17, with T1P2 currently selected. The main content area displays "Región: El Oro" and a form for selecting the fermentation level and grain type. The form has two sections: "Nivel de fermentación" with radio buttons for "Buena Fermentación", "Ligera Fermentación", "Violeta", "Pizarro", and "Moho"; and "Tipo" with radio buttons for "Nacional/ Cacao Fino" and "CCN51". To the right of the form is an image of a cacao bean in a white dish. At the bottom of the form is a button labeled "ENVIAR RESPUESTA".

Figura 2.6.2.1. Página de Encuestas cuando se envía una respuesta al servidor. Autoría propia.

Una vez el experto haya terminado de calificar todos los granos de la encuesta, se le mostrará un alert agradeciéndole por su participación y pidiéndole que cierre su sesión. [ver Figura 2.6.2.2]

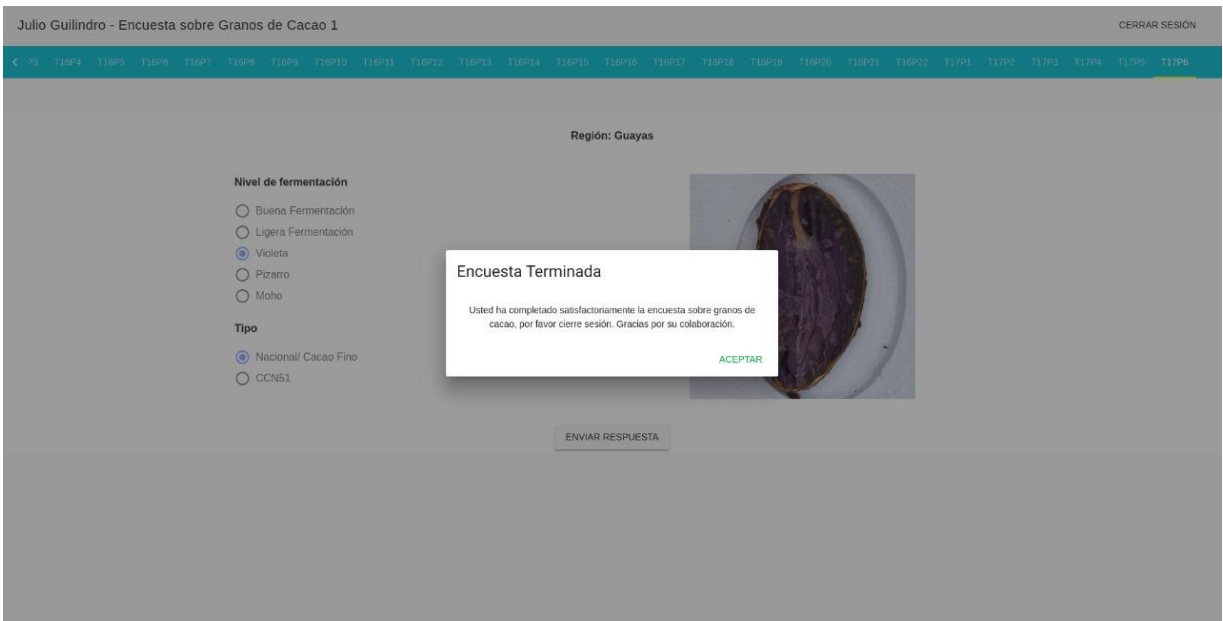


Figura 2.6.2.2. Alert presentado al terminar encuesta. Autoría propia.

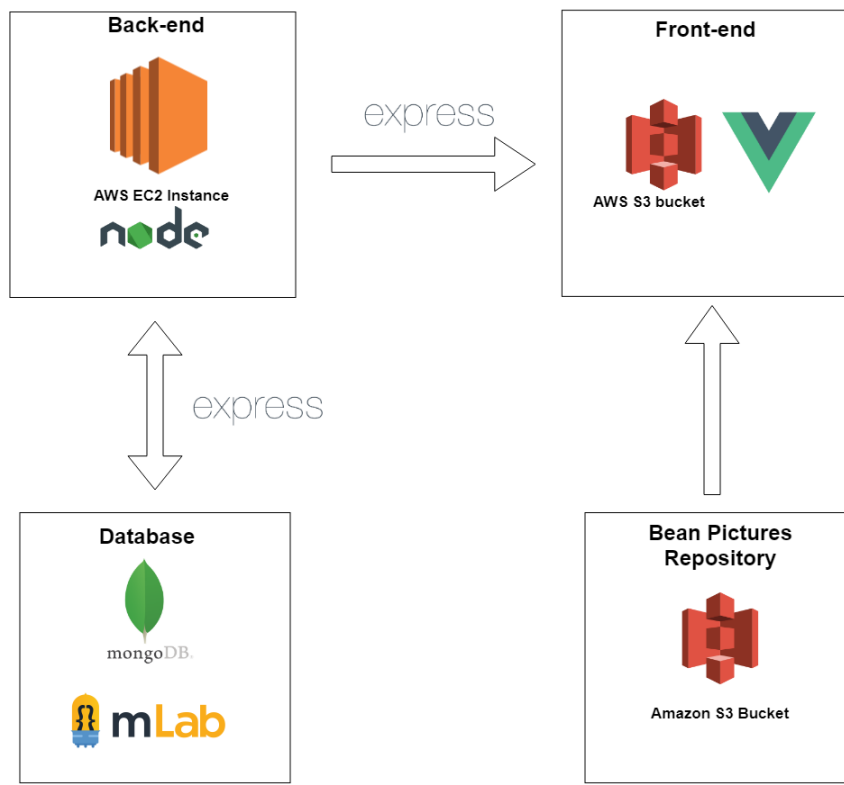
El sistema web necesitaba poder ser accedido desde cualquier parte del mundo, debido a que muchos de sus expertos no necesariamente se encontraban dentro de la ciudad o del país. Este requerimiento fue atendido subiendo todo el sistema a la nube con la ayuda de las herramientas de Amazon Web Services. [ver Figura 2.6.2.3]

Para poder hostear el servidor backend se hizo uso de una máquina virtual Ubuntu usando el servicio EC2 de AWS.

Para hospedar la aplicación web front-end se realizó su respectivo build, la cual transformó en una página web estática que se subió a un repositorio en la nube usando el servicio S3 de AWS.

La base de datos se la hizo pública subiéndola a la nube usando la página mLab.com, la cual ofrece servicios de hosting de base de datos MongoDB de manera gratuita para bases de datos de hasta 500 MBs.

Para el repositorio de imágenes de los granos de cacao también se usó el servicio S3 de AWS.



**Figura 2.6.2.3. Arquitectura completa del sistema Web en la nube usando AWS y mLab.
Autoría propia.**

2.7 Aplicación para control del prototipo.

Para poder controlar el prototipo se creó una aplicación en el lenguaje de programación Python usando las librerías de GStreamer. [ver Figura 2.6.2.4] Estas librerías permiten controlar las cámaras USB, ya sea recibir un stream de datos de ellas o cerrar la comunicación. A esta aplicación se le puso el nombre de Snapper! y sirve para la visualización de las cámaras integradas en el prototipo y el análisis de dichos datos.



Figura 2.6.2.4. Aplicación Snapper! que controla el prototipo. Autoría propia.

Esta aplicación posee 3 botones, uno para encender y apagar la cámara. Una vez encendida la cámara se va a mostrar un stream de ella en tiempo real en la pantalla. El siguiente botón es para poder tomar una foto de lo que está al frente de la cámara en ese momento. Y el último botón es para poder hacer un análisis de espectro de luz de la última foto tomada. [ver Figura 2.6.2.5]

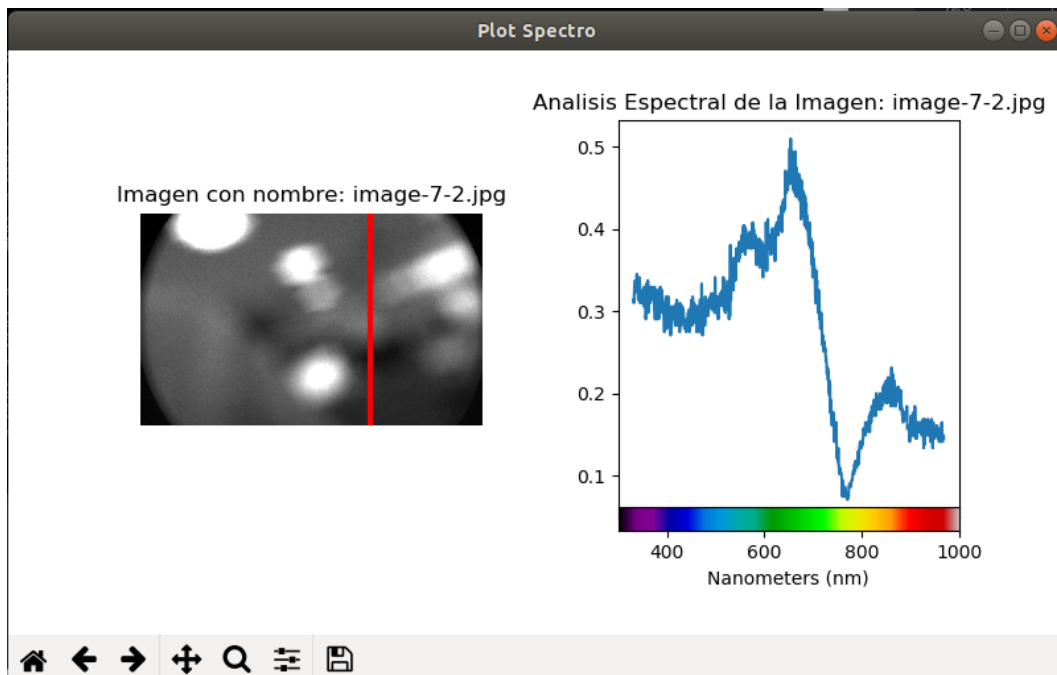


Figura 2.6.2.5. Análisis de espectro de la última imagen tomada. Autoría propia.

Este último botón abre una nueva ventana que muestra la foto a la que se le está haciendo el análisis junto con un plot del espectro de luz de la columna de píxeles señalada en rojo dentro de la imagen.

Esto prueba la funcionalidad del espectrógrafo y el correcto funcionamiento en la comunicación de las cámaras con el CPU industrial.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Resultados obtenidos al conectar las cámaras al CPU Industrial

Habiendo concluido los pasos descritos en la metodología se pudo conectar satisfactoriamente la cámara con el CPU Industrial, permitiendo así la comunicación por ambas partes.

Las pruebas se las realizaron conectando distintos lentes a las cámaras, las cuales tuvieron que ser conectadas mediante un Powered HUB al CPU Industrial como fue previamente mencionado y usando el comando “streamer -f jpeg -o [nombre_del_archivo].jpeg” se pudo efectivamente capturar imágenes. Junto al código que se compiló directamente del repositorio en github de la empresa que desarrolló, en ambas cámaras vinieron ejemplos que servían para explicar brevemente cómo usar todas las funcionalidades de la cámara, estos ejemplos vinieron escritos en diferentes lenguajes como python, c, cpp, entre otros. Con dichos ejemplos se pudo de igual manera comprobar que las cámaras se encontraban en correcto estado.

En la siguiente tabla se listan todos los elementos necesarios para capturar las imágenes, recopilar la información y realizar el análisis consecuente, junto a sus precios:

Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Total
Optica e iluminación			
Superficie de calibración	0.5	\$ 920.00	\$ 460.00
Lente del espectrografo	1	\$ 809.92	\$ 809.92
Espectrógrafo	1	\$ 8,446.32	\$ 8,446.32
Luces Halógenas	2	\$ 13.00	\$ 26.00
Cámara Monocromática	1	\$ 179.00	\$ 179.00
Total Óptico			\$ 9,921.24
Componentes Mecánicos			
Motores de paso	1	\$ 30.00	\$ 30.00

Piezas adicionales	Varias	\$ 150.00	\$ 150.00
Fierros	Varios	\$ 300.00	\$ 300.00
Tornillo sin fin	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Superficie de desplazamiento	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Estructura	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Cables	2	\$ 30.00	\$ 60.00
Rollos de plástico	0.2	\$ 100.00	\$ 20.00
Total Mecánico			\$ 1,210.00
Componentes de Hardware			
Monitor industrial	1	\$ 200.00	\$ 200.00
CPU industrial	1	\$ 229.00	\$ 229.00
Controlador de motor	1	\$ 200.00	\$ 250.00
Total Eléctrico			\$679
Materia prima por Unidad			\$11810.24
Máquinas anuales			6
Total máquinas anuales			\$70861.44
Costo de importación			\$11995.73
Costo de importación por unidad			\$1999.29
Total de costos variables por unidad			\$13809.53
Total de costos variables			\$82857.18

Tabla 3.1.1 Análisis de Costos relacionados para el desarrollo de la solución.

3.2 Resultados obtenidos de la Aplicación Web

Se obtuvieron 1255 respuestas de 8 diferentes expertos. En 4 diferentes encuestas. [ver Figura 3.2.1]

NAME	DOCUMENTS
expertos	21
pepas	440
respuestas	1,255
surveyExpertos	41
surveys	8

Figura 3.2.1. Número de registros obtenidos. Autoría propia.

Se tuvieron 3 respuestas de expertos en la Encuesta #4, otras 3 respuestas en la Encuesta #2, 1 respuesta en la Encuesta #1 y 1 en la Encuesta #1.

Estos resultados son parcialmente satisfactorios, debido a que se tienen 3 diferentes respuestas de 220 granos, lo cual es bastante bueno, sin embargo, considerando que el total de granos es de 440, solamente se puede usar la mitad del dataset para realizar el entrenamiento del algoritmo de reconocimiento.

Las respuestas de la encuesta #1 y #2 no pueden ser usadas para dicho entrenamiento debido a que sólo fueron respondidas por 1 experto. Es necesario poder tener la respuesta de al menos 3 de ellos para realizar un consenso y poder encontrar patrones dentro de las respuestas que nos ayuden a la clasificación.

3.3 Resultados obtenidos del prototipo

Una vez armada la estructura del Prototipo y acoplados todos los componentes, se tuvo como resultado un escáner de espectro de luz visible, el cual sería el prototipo final. [ver Figura 3.3.1]

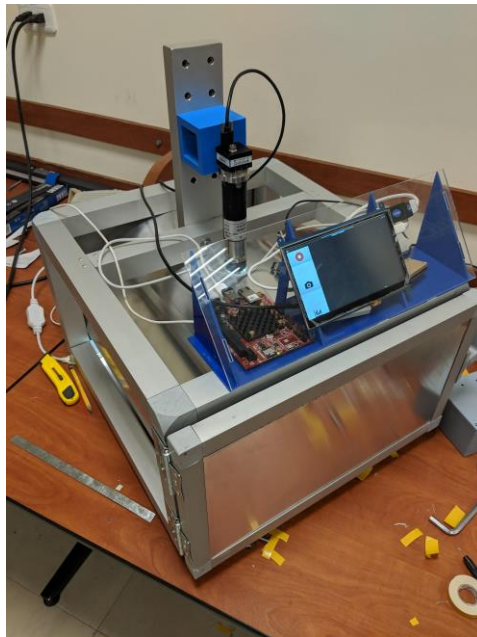


Figura 3.3.1. Vista del prototipo final. Autoría propia.

Una vez construido el prototipo final se pudieron realizar las pruebas sobre este. Para realizar las pruebas se usaron objetos de distintos colores para determinar el espectro de luz visible donde más intensidad se presenta.

El primer objeto que se escaneó fue una caja de color Rojo. [ver Figura 3.3.2] El color rojo de la caja tiene la característica de reflejar longitudes de onda bastante altas en comparación a los otros colores visibles, reflejando mayormente luz entre los 620 - 750 nanómetros. [8]

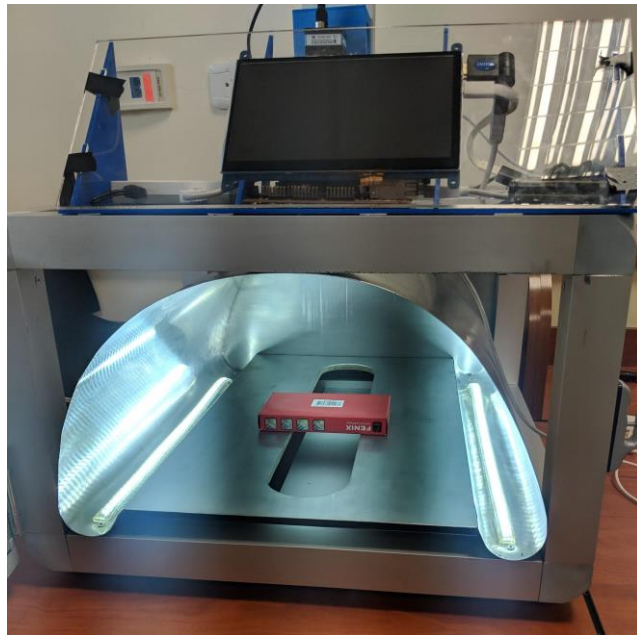


Figura 3.3.2. Escaneo de caja roja. Autoría propia.

El espectro de luz obtenida para esta caja es bastante cercano al esperado, teniendo picos bastante altos al espectro derecho de la escala, demostrando que dicha caja refleja de mejor forma la luz de color rojo. [ver Figura 3.3.3]

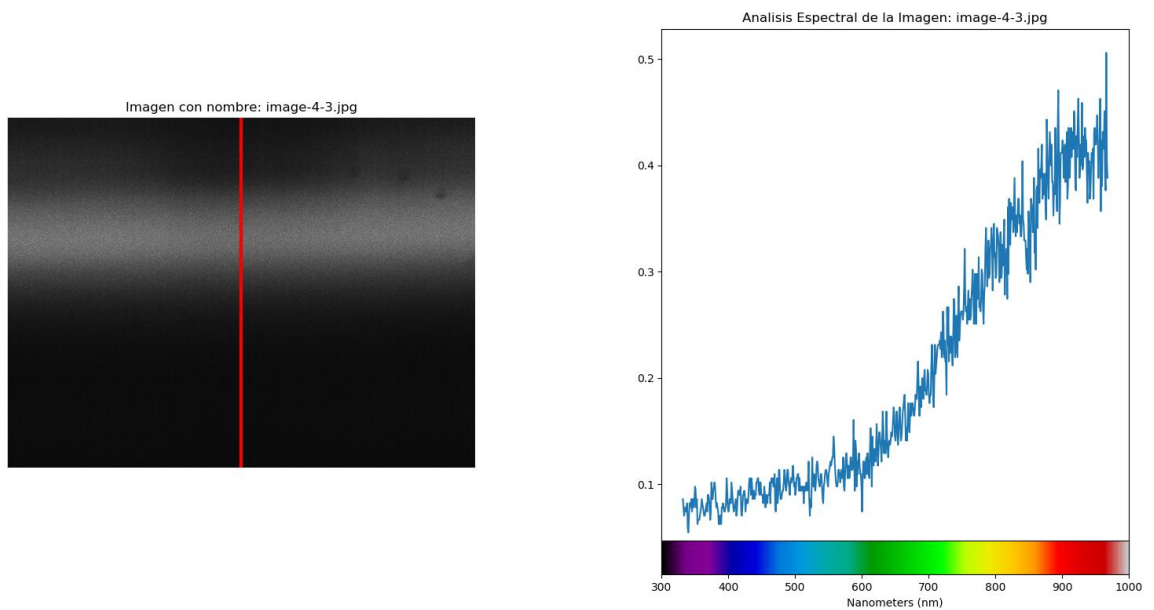


Figura 3.3.3. Análisis Espectral de la caja roja. Autoría propia.

Este análisis se repitió para una placa de color azul, la cual se encuentra al otro lado del espectro de luz visible. [ver Figura 3.3.4] El color azul de la caja tiene la característica de reflejar longitudes de onda bastante bajas en comparación a los otros colores visibles, reflejando mayormente luz entre los 450 - 500 nanómetros. [8]

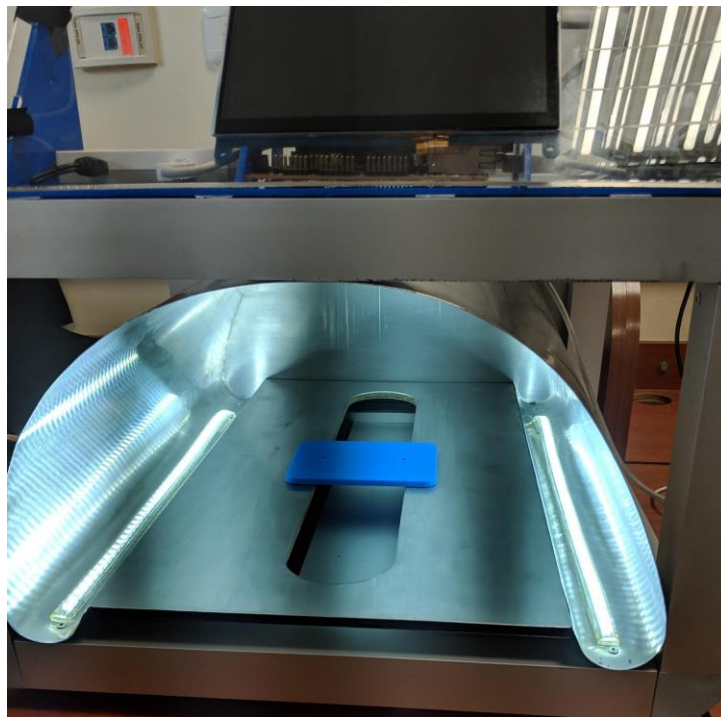


Figura 3.3.4. Escaneo de placa azul. Autoría propia.

Los resultados obtenidos de este escaneo fueron los esperados, la gráfica mostró picos del lado izquierdo del espectro, en las longitudes de onda menores demostrando que dicha caja refleja de mejor forma la luz de color azul y colores cercanos a este. [ver Figura 3.3.5]

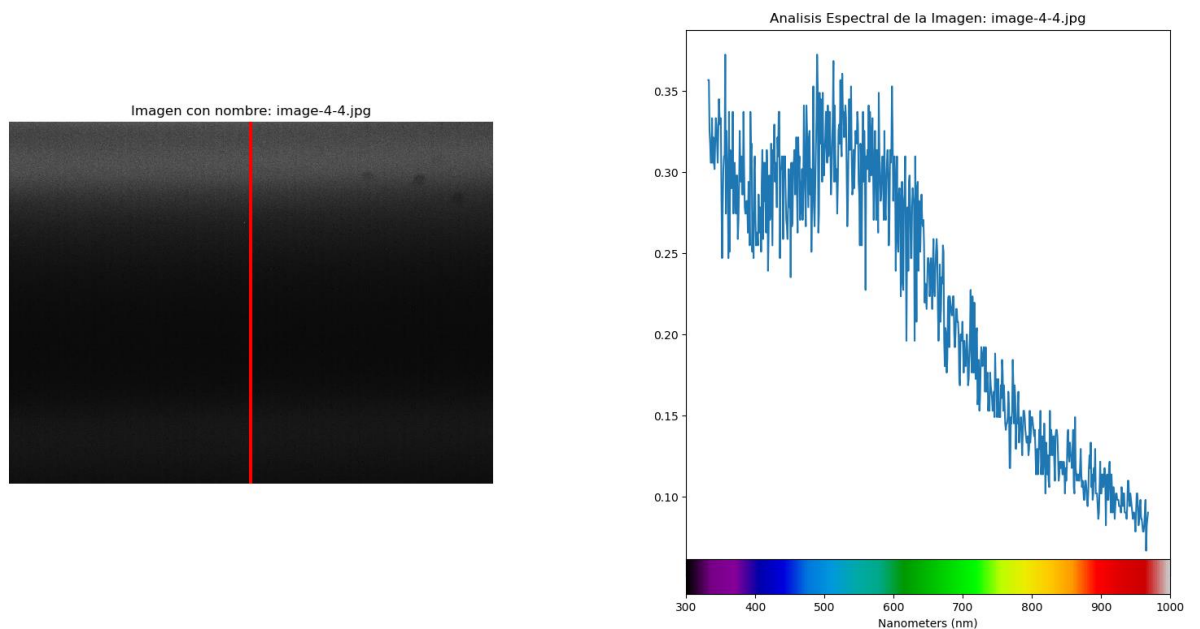


Figura 3.3.5. Análisis Espectral de la placa azul. Autoría propia.

El último escaneo que se hizo fue sobre un cubo plástico impreso en 3D de color verde, intentando probar la detección del espectro medio de luz visible. [ver Figura 3.3.6]. El color verde fosforescente del cubo tiene la característica de reflejar longitudes de onda, en su mayoría, en la mitad del espectro de luz visible, reflejando mayormente luz entre los 500 - 590 nanómetros. [8]

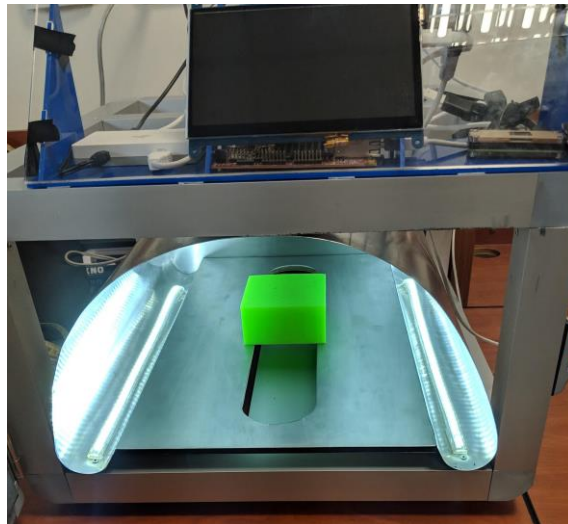


Figura 3.3.6. Escaneo de cubo verde. Autoría propia.

Los resultados una vez más fueron los esperados. Se obtuvieron unos picos más altos en la mitad del espectro de luz visible y sus alrededores. Esto demuestra las propiedades reflectivas del cubo de color verde fosforescente. [ver Figura 3.3.7]

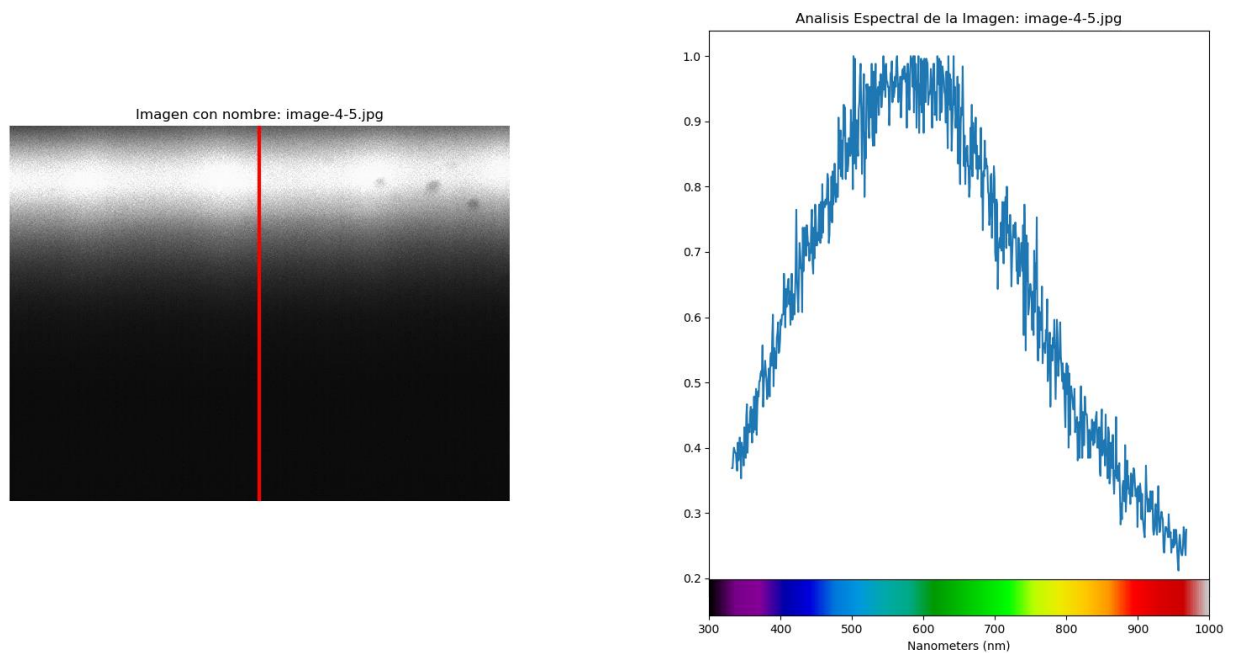


Figura 3.3.7. Análisis Espectral del cubo verde. Autoría propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo desarrollado consta de tres partes principales: una aplicación web para obtener la información necesaria para alimentar la base de datos, la adaptación del cpu industrial para realizar el procesamiento respectivo, y finalmente una pequeña aplicación que demuestra las posibles aplicaciones. Cada uno de estos componentes mencionados tiene sus propias fortalezas, debilidades y trabajos a futuros.

El primer caso es el de la encuesta por medio de la aplicación web, la cual fue diseñada con la finalidad de recopilar la información de distintos usuarios, estos pueden incrementar según así se lo requiera. Una de las ventajas principales de esta es que puede ser accedida por dichos usuarios desde cualquier parte y desde cualquier dispositivo con acceso a internet por igual, es decir consta con un diseño adaptativo, mejor conocido como *responsive*. La aplicación también fue diseñada para ser lo más intuitiva y adaptable posible, en otras palabras, se pueden agregar más encuestas si es necesario, como también más preguntas a dichas encuestas, esto es bastante útil si se necesita tener muchas opiniones por cada uno de los granos. Entre las debilidades se puede mencionar que los grupos de preguntas son diseñados para cada grano de cacao individualmente, en principio esto no suena como una debilidad realmente, sin embargo hay que considerar que para obtener una imagen de grano de cacao, se debe pasar por un largo proceso de edición (recortar individualmente cada grano de una imagen tomada a un lote), para que así finalmente pueda ser subida al sistema, es aquí que este proceso comienza a ser menos automatizado de lo que originalmente se esperaría; de igual manera al momento de generar los reportes, éstos deben de ser descargados por otra aplicación aparte, por lo tanto un trabajo a futuro podría ser el de agregar un nuevo módulo administrativo a la aplicación, que permita generar los reportes como el usuario requiera y ser descargados en un formato establecido. Otra consideración podría ser que la

aplicación permita agregar más preguntas por granos y además que pueda cortar las imágenes individuales de cada grano automáticamente a partir de una foto de un lote.

El segundo envuelve todo lo relacionado a la modificación del software del cpu industrial para que pueda cumplir con los requerimientos mínimos necesarios para poder desarrollar el sistema calificador de los granos de cacao. Dentro del sitio web del proveedor puede encontrar varias de las funcionalidades que permite el cpu industrial por defecto de fábrica, como también los pasos necesarios en caso que deba hacerse una modificación del kernel. Si se puede modificar el kernel entonces se pueden agregar funcionalidades nuevas no contempladas originalmente, y estas se pueden adaptar según los cambios que existan de requerimientos. Una fortaleza muy importante es que la recompilación del kernel puede ser realizado independiente del sistema operativo, por ende, cada vez que el kernel sea modificado en cualquier computador aparte, se lo puede agregar al CPU industrial sobrescribiendo el ya existente, esto no quiere decir que necesariamente va a funcionar enseguida, ya que posiblemente se requiera realizar actualizaciones de los módulos y drivers instalados. Una de las debilidades principales es que el kernel originalmente viene con los módulos específicos mínimos para que el CPU industrial funcione, por ende, para agregar las funcionalidades específicas del proyecto se tuvo que consultar fuentes externas para encontrar los módulos necesarios para la comunicación con las cámaras USB, como también con el adaptador USB de Wifi. Una vez todo listo es necesario una actualización del sistema operativo para que se instalen los módulos de kernel correctamente. A futuro se espera poder conectar el prototipo a una banda transportadora para que se puedan movilizar los granos de cacao a través de esta, y así realizar el análisis con las cámaras USB de forma que simulen a una línea de ensamblaje, mejorando el tiempo de análisis.

Finalmente se menciona al tercer componente, la aplicación de Python mostrando las posibilidades del CPU. Una de las fortalezas más notables es que al instalar las librerías necesarias para permitir la comunicación del CPU industrial con las cámaras, estas vienen con aplicaciones de ejemplo escritas en lenguajes de programación

como C o Python, las cuales sirven como base para desarrollar así aplicaciones aún más complejas que se adapten a los requerimientos a futuro. Una de las debilidades principales que se encontró es que es un poco más dificultoso realizar un debug de dichas aplicaciones, por ende un pequeño error podría tomar más del tiempo esperado en solucionarse, pero cabe recalcar que no es necesario usar dichas aplicaciones de ejemplo, ya que estas hacen uso del video4linux, y por ende se pueden usar librerías distintas. A futuro se puede saltar la parte visual de la aplicación y realizar el análisis hiperespectral directamente desde ella.

Conclusiones

Del trabajo realizado se lograron obtener distintas conclusiones en cada una de sus tres etapas mencionadas con anterioridad.

Con respecto a la aplicación web se puede concluir que existe mucha diferencia entre los datos obtenidos tras haber realizado el experimento. Si bien no hubo dificultad al usar la aplicación por parte de los usuarios, estos, si tuvieron bastante dificultad al clasificar los granos debido a que no existe una norma o un estándar actualmente.

Con respecto al CPU industrial se puede concluir que es conveniente modificar el kernel sólo cuando realmente sea necesario, y que sólo se instalen los módulos mínimos para su funcionamiento. De esta forma uno se asegura que no tenga módulo demás corriendo y así aprovechando al máximo la funcionalidad de este. Mientras menos carga más óptimo serán los resultados obtenidos. Puede darse el caso también que pueda no compilar el kernel del todo si se activan módulos al azar o módulos innecesarios.

Con respecto a la aplicación de demostración se puede concluir que, a pesar que las imágenes del streaming mostradas durante la demostración final no carguen inmediatamente, el cpu era capaz de obtener bastantes imágenes al instante y procesarlas sin problema, lo cual es bastante funcional al momento de instalar la banda transportadora ya que podría ser desplazada a una mayor velocidad agilizando el tiempo de procesamiento total, y como se explicó anteriormente, en un sistema completamente desarrollado, muchas de las partes visuales, como por ejemplo el streaming, no sería necesario, sino más bien sólo sería útil mostrar los resultados finales.

Recomendaciones

Con respecto a la aplicación web se puede sugerir cambios tales como implementar un sistema administrativo que agilice el proceso de agregar datos como también exportarlos.

Con respecto a la modificación del CPU industrial se pueden sugerir cambios como eliminar la interfaz gráfica del sistema operativo e implementar un sistema que permita que el Raspberry Zero muestre los resultados procesados por el CPU industrial. También se puede sugerir que al adquirir un CPU industrial similar, este venga instalado con el módulo de Wifi de fábrica y así eliminar la necesidad de instalar wifi mediante un adaptador USB. Finalmente se puede también modificar el sistema para que el servicio de Punto de Acceso Wifi lo ofrezca el CPU industrial más no el Raspberry Zero como consta actualmente.

Con respecto a la aplicación mostrada, se pueden sugerir cambios tales como que esta corra directamente desde el Raspberry Zero. De esta manera el streaming inclusive podría mostrar las imágenes a una mayor velocidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Armstrong, (2011, junio). Controles de Presión y temperatura [online]. Disponible en: <http://www.armstronginternational.com/es/pressure-temperature-controls>.
- [2] Redacción, E. U. (2015, February 23). Tomás Cedeño logró certificar el origen del cacao que cultiva. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/noticias/2015/02/02/nota/4512021/tomas-cedeno-logro-certificar-origen-cacao-que-cultiva>
- [3] Noticias, Ministerio de Turismo. (2014, December 5). “El cacao como producto símbolo del Ecuador”, la meta de la cacao cultura. Retrieved from <https://www.turismo.gob.ec/el-cacao-como-producto-simbolo-del-ecuador-la-meta-de-la-cacao-cultura/>
- [4] Bernal, M. M. (2004, November 27). Se unificará calidad del cacao. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/2004/11/27/0001/71/2348FD1A2B7E4D13864EB8170FAF950C.html>
- [5] Bernal, M. M. (2007, August 25). La calidad del cacao ecuatoriano será evaluado por tercera vez. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/2007/08/25/0001/71/43AA6F0F39F54A2BAC534C16B90FDBC2.html>
- [6] DR. JOHN R. GILCHRIST, CAMLIN PHOTONICS; TIMO HYVÄRINEN, SPECTRAL IMAGING LTD.. (2016). Hyperspectral Imaging Spectroscopy: A Look at Real-Life Applications. 21 de Octubre del 2018, de Photonics Sitio web: https://www.photonics.com/Articles/Hyperspectral_Imaging_Spectroscopy_A_Look_at/a25139
- [7] Butusov, M. (2019). ReactJS vs Angular5 vs Vue.js - What to choose in 2018?. [online] Blog - TechMagic. Available at: <https://blog.techmagic.co/reactjs-vs-angular5-vs-vue-js-what-to-choose-in-2018/>

[Accessed 18 Jan. 2019].

[8] Anne Marie Helmenstine, Ph.D.. (2018). The Visible Spectrum: Wavelengths and Colors. 28 Jan. 2019, de ThoughtCo. Sitio web: <https://www.thoughtco.com/understand-the-visible-spectrum-608329>

ANEXOS

Anexo A1

CPU

CPU Arch	ARM
CPU Vendor	Marvell
CPU Part Number	Armada 385
CPU Speed	1.3 GHz
Floating Point Unit	1x

RAM

RAM	1 GB
-----	------

Onboard Storage

eMMC Flash Storage	4 GB
--------------------	------

External Storage

full-size SD Socket	1x
microSD Socket	1x
SATA port	2x (mSATA Optional)

Data Acquisition & Control

Digital Input/Output	110x
Analog-to-Digital	5x

Digital Input	5x
PWM Channel	6x

Interfaces

PC/104 Bus	1x
Gigabit Ethernet	1x
USB Host	2x (2x USB 3.0, 1x microUSB for Console)
Serial/COM Port	10x (6x RS-232, 4x TTL)
RS-485 Port	2x (Optionally 1x Full Duplex/RS-422)
CAN Bus	1x
Bluetooth	1x
WiFi Radio	1x
Accelerometer/Gyro	1x

HMI

Matrix Keypad Header	1x
Text LCD Header	1x

Onboard Devices

Programmable FPGA	20k LUT
Battery-Backed Real Time Clock	1x
Watchdog Timer	1x

Temperature Sensor	1x
---------------------------	----

Operation Temperature

Fanless Temp Range	-40 °C to 85 °C
---------------------------	-----------------

Operating Supply Voltage

Operating Supply Voltage	5 VDC to 30 VDC (8 - 30 VDC with TS-781 or TS-13W)
---------------------------------	--

Solutions

Debian Linux Distribution	Yes
----------------------------------	-----

Mechanical

Length	97mm
Width	119mm

Tabla A1.1. Especificaciones del CPU industrial TS-7800-V2

General

Dynamic Range	8 bit
Resolution	2592x1944

Frame Rate at Full Resolution	7
Pixel Formats	8-Bit Monochrome
Vision Standard	USB3 Vision

Optical Interface

IR-Cut filter	No
Sensor Type	Aptina MT9P031
Shutter Type	Rolling
Sensor Format	1/2.5 inch
Pixel Size	2.2 μm
Lens Mount	C/CS

Electrical Interface

Interface	USB 2.0
Supply voltage	4.75 VDC to 5.25 VDC
Current consumption	approx 250 mA @ 5 VDC
I/O Connector	4-pin connector for trigger and strobe or general purpose input/output

Tabla A1.2. Especificaciones de la cámara DMK 72BUC02

General

Dynamic Range	10 bit
Resolution	1920x1200
Frame Rate at Full Resolution	129
Pixel Formats	8-Bit 10-Bit Packed Monochrome Monochrome
Vision Standard	USB3 Vision

Optical Interface

IR-Cut filter	No
Sensor Type	ON Semiconductor P2000
Shutter Type	Global
Sensor Format	2/3 inch
Pixel Size	4.8 μm
Lens Mount	C/CS

Electrical Interface

Interface	USB 3.0
Supply voltage	4.75 VDC to 5.25 VDC
Current consumption	approx 900 mA @ 5 VDC
I/O Connector	12-pin connector for trigger and strobe or general purpose input/output

Tabla A1.2. Especificaciones de la cámara DMK 33UP2000

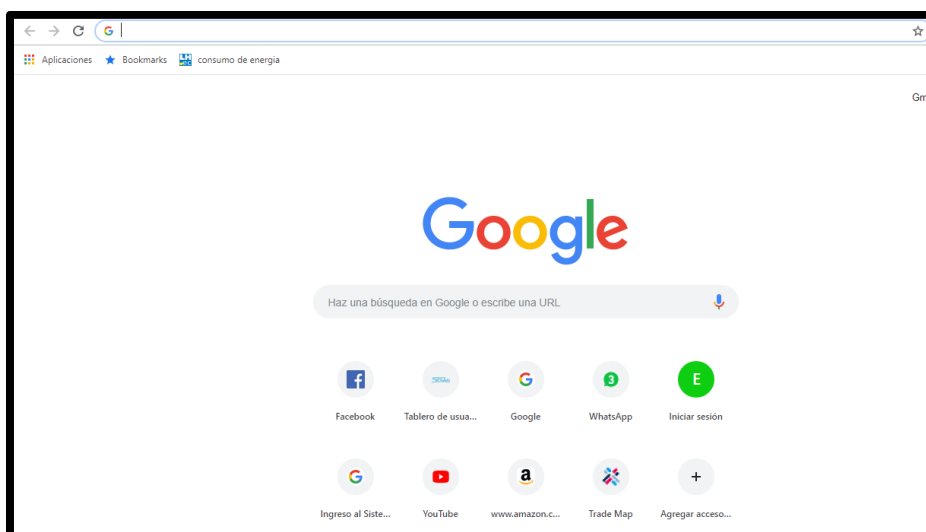
Anexo A2

Manual de Usuario para acceder al sistema de evaluación de fermentación de cacao

Objetivo: Facilitar el acceso al portal web donde se evaluará la fermentación de Cacao de diferentes regiones del País.

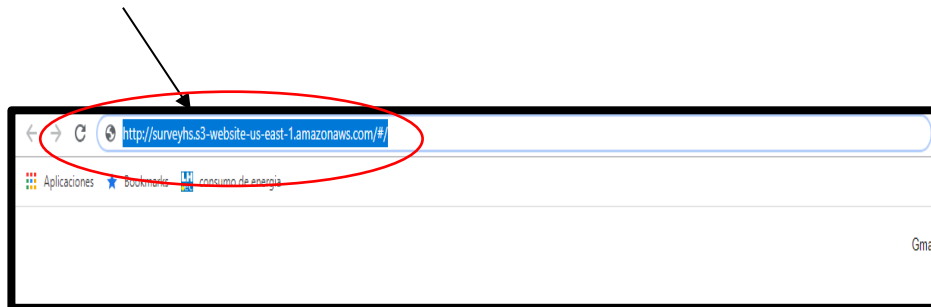
1. Paso

Desde su computadora abrir el navegador web que usted use



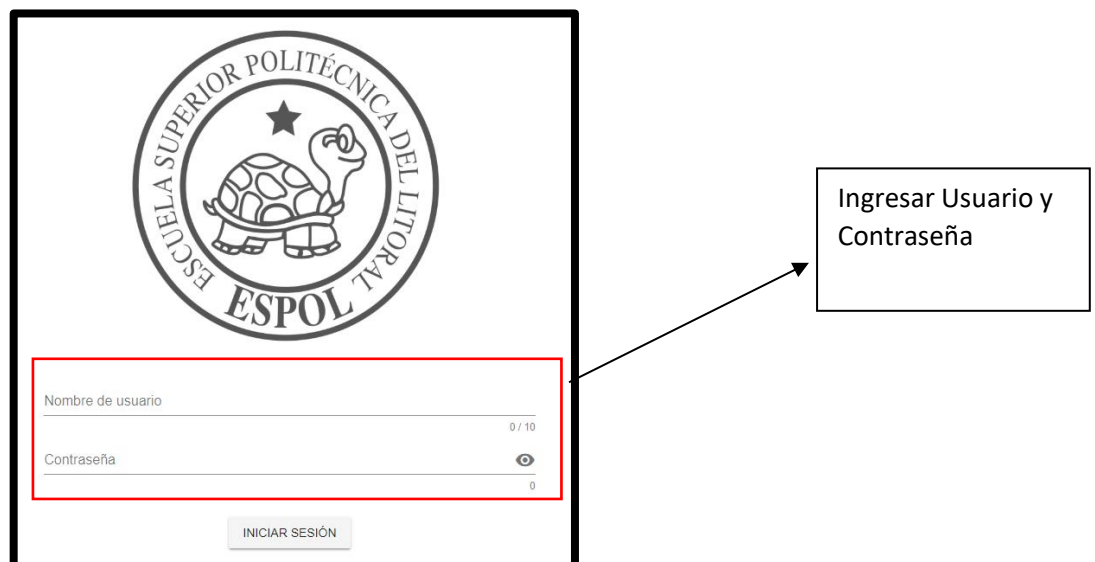
2. Paso

En la parte superior del navegador Ingresar el Link que se le envió a su correo y dar Enter



3. Paso

Cuando se haya cargado la página, le aparecerá el logo de Espol y un recuadro donde tendrá que ingresar su usuario y contraseña que se le envió vía Correo.



4. Paso

Una vez ingresado el Usuario y contraseña dar clic donde dice **INICIAR SESIÓN**



Nombre de usuario:
cnoboa

Contraseña 6 / 10
.....

Minimo 8 caracteres 5

INICIAR SESIÓN

5. Paso

Una vez ingresado aparecerá la siguiente información: el grano cortado, la región de donde fue obtenido el grano, los niveles de fermentación y el tipo de grano. Su trabajo como evaluador es seleccionar dando clic que tipo de fermentación es el grano y el tipo de cacao. Al seleccionar y estar seguro de su respuesta dar clic en **ENVIAR RESPUESTA**.

Cristian Noboa - Encuesta de Granos de Cacao #1 CERRAR SESIÓN

P1 P2 P3 P4 P5

Región: Los Ríos

Nivel de fermentación

Buena Fermentación

Ligera Fermentación

Violeta


Pizarro

Moho

Tipo

Nacional/ Cacao Fino

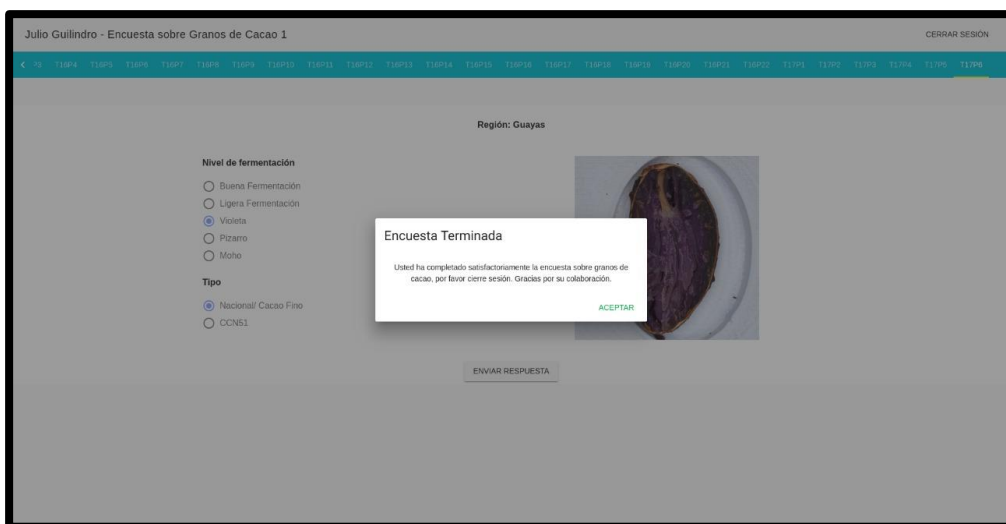
CCN51



ENVIAR RESPUESTA

6. Paso

Al dar clic en **ENVIAR RESPUESTA** automáticamente le aparecerá el segundo grano a evaluar, esto tendrá que hacerlo 100 veces, ya que se desea simular la clasificación de fermentación de forma habitual. Al finalizar la evaluación de los 100 granos de cacao la le aparecerá un mensaje que ha terminado el proceso.



Manual A2.1. Manual de Usuario para acceder al sistema de evaluación de fermentación de cacao

Lista de pasos para instalar drivers de camaras USB al CPU industrial TS-7800-V2

1. Cambiar el pin dentro del CPU industrial TS-7800-V2 para que pueda arrancar desde la memoria SD.
2. Descargar el sistema operativo desde el sitio web del proveedor:
 - a. A un costado de la placa se encuentra el nombre de la placa TS-7800-V2
 - b. Al acceder al sitio web <https://www.embeddedarm.com/products/TS-7800-V2> ir a la sección "Manual" en donde se encuentra el sistema operativo
3. Descargar desde el github el kernel

4. Recompilar el kernel con menuconfig y permitir el uso de camaras USB con video4linux
5. Una vez terminado instalar las librerias de debian buster, pero sin actualizar la placa
6. Realizar la actualización del video4linux para que solucione el bug del sistema operativo original
7. Usar un powered hub 5V 2A USB3.0 para conectar las camaras USB2.0 y USB3.0 al CPU industrial
8. Descargar las librerias necesarias para compilar, instalar y correr las camaras industriales <https://www.theimagingsource.com/products/software/linux/software-for-linux/>
9. Una vez compiladas hacer un firmware upgrade a las camaras que sean necesarias
10. Agregar las camaras a las reglas del sistema operativo para que sean identificadas correctamente
11. Finalmente correr streamer para probar si efectivamente toma fotos.

Manual A2.2. Manual para dar soporte a cámaras USB en el CPU industrial TS-7800-V2.

Manual de Usuario para la aplicación Snapper!

Sección 1: Instalar Dependencias.

Asegurarse de tener un ordenador que tenga instalado alguna distribución de Linux derivada de Debian (Jessie/Ubuntu) y conectada una cámara USB.

Abrir una terminal.

Instalar las dependencias de la aplicación usando el siguiente comando:

```
sudo apt-get install git g++ cmake pkg-config libudev-dev libudev1 libtinymce-dev  
libgstreamer1.0-dev libgstreamer-plugins-base1.0-dev libglib2.0-dev  
libgirepository1.0-dev libusb-1.0-0-dev libzip-dev uvcdynctrl python-setuptools  
libxml2-dev libpcap-dev libaudit-dev libnotify-dev autoconf intltool gtk-doc-tools  
python3-setuptools python-pip
```

```
pip install matplotlib mpltoolkits numpy PIL
```

Sección 2: Iniciar Aplicación.

Descargar el archivo de script de Python llamado snapper y colocarlo dentro de un directorio.

Para ejecutar la aplicación, dentro del directorio abrir una terminal y escribir el siguiente comando:

```
python snapper
```

Sección 3: Usar la aplicación.

Una pantalla con tres botones debería iniciarse [ver Figura A2.3.1]

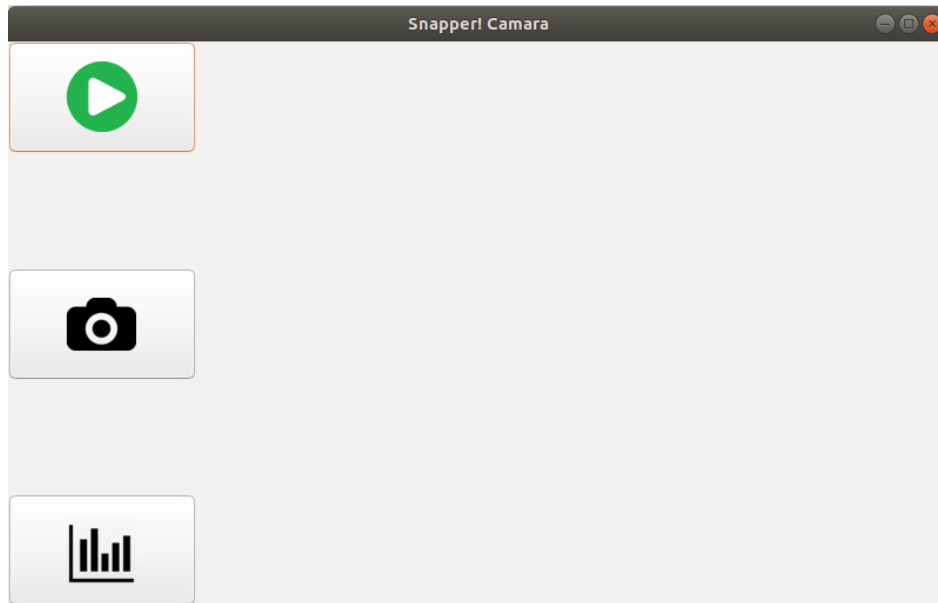


Figura A2.3.1. Menú principal de Snapper.

Para iniciar la cámara debe de dar clic al botón verde de 'Play'.

Se debería de iniciar la conexión con la cámara y mostrarse dentro de la aplicación la imagen en tiempo real. [ver Figura A2.3.2]



Figura A2.3.2. Aplicación Snapper mostrando en tiempo real la imagen de la cámara USB.

Una vez encendida la cámara, para tomar frames de ella se debe presionar el botón con icono de cámara. Este va a guardar una imagen de lo que se refleja en la cámara dentro del directorio donde se encuentra la aplicación.

Para poder realizar un análisis del último frame guardado, tomado con la aplicación, hay que hacer clic en el botón de análisis que tiene un icono de barras.

Se debería abrir una pantalla mostrando el análisis de la última imagen capturada. [ver Figura A2.3.3]

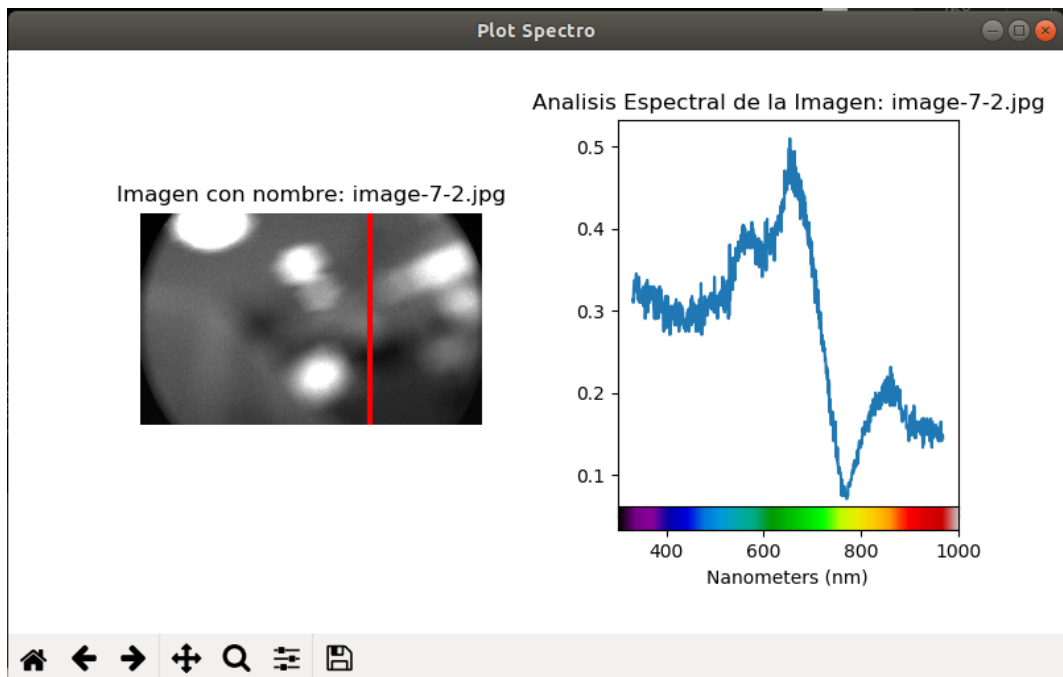


Figura A2.3.3. Aplicación Snapper mostrando el análisis de la última imagen tomada.

Se puede usar la barra de opciones para poder guardar el análisis o hacer zoom a los gráficos.

Manual A2.3. Manual para el uso de la aplicación (Snapper!) que controla las cámaras dentro del prototipo.