

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Mejora en la Exactitud en la Clasificación de la Fermentación de Cacao mediante el diseño de un Prototipo de Control Automático de Calidad de Cacao Usando Imágenes Hiperespectrales"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto Multidisciplinario de Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Nelson Noé Arias Sánchez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

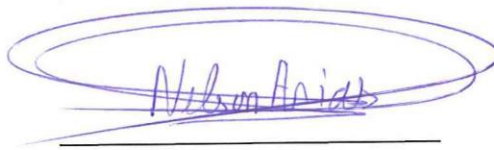
Quiero dedicar este proyecto especialmente a mi padre por haberme siempre inculcado en valores y consejos para poder ser la Persona que hoy en día soy y madre que siempre estuvo conmigo dándome todo su apoyo y cariño en todo este trayecto de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios en primer lugar por haberme dado la vida y la oportunidad de haber estudiado ya que muchos no tienen este gran privilegio, a mis papás y mi hermana por apoyarme en todo este tiempo de mi carrera estudiantil, a mis amigos y compañeros universitarios que gracias a ellos pude lograr este triunfo también en especial a Francisco y Jorge que siempre estuvieron en los momentos buenos y malos. a mi tutora y profesora de tesis Sofía López por su constante apoyo y formación profesional a lo largo de mi etapa universitaria. Finalmente, a mis compañeros del proyecto multidisciplinario por su aporte en todo el proyecto.

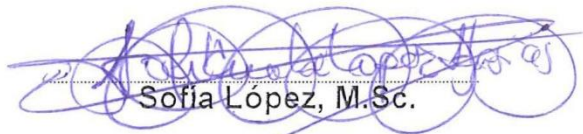
DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Nelson Noé Arias Sánchez* y doy mi 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"



Autor
Nelson Noé Arias Sánchez

EVALUADORES



~~Sofia López, M.Sc.~~

PROFESORA DE LA MATERIA

TUTOR

RESUMEN

El presente Proyecto Multidisciplinario se trata del Diseño de un Prototipo automático de Calidad de Cacao usando imágenes hiperespectrales, el proyecto se lo desarrolló bajo la metodología diseño para Seis Sigma (Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar), con el objetivo de mejorar la exactitud en la clasificación de la fermentación de cacao. En la primera fase del proyecto, se determinó los requerimientos del cliente sobre el nuevo sistema de clasificación de fermentación de Cacao a través del VOC mediante el uso de entrevistas con el gerente de la exportadora y el personal calificado, donde estos fueron transformados en requerimientos de Diseño a través del QFD. Se diagramó el proceso de exportación de un lote de cacao mediante el VSM para identificar el porcentaje de actividades que agregan y no agregan valor. Una vez identificado la situación actual de la exportadora se identificaron los factores críticos de diseño, los cuales se obtuvieron a través del QFD y AMEF para posteriormente realizar una priorización con el equipo de diseño mediante la matriz Impacto-Esfuerzo. Una vez priorizados los factores de diseño se implementan las soluciones propuestas y se realizan varios ensayos para determinar la validez del equipo. Finalmente se obtuvieron resultados favorables, eliminando la subjetividad en la clasificación de fermentación y diferenciando el tipo de cacao ya sea Nacional o CCN51, es decir, no se pudo llegar al objetivo deseado planteado, ya que esto requiere un mayor tiempo de entrenamiento al algoritmo de clasificación, por lo que esa tarea estaría fuera del alcance del proyecto.

Palabras Clave: Cacao, Diseño, Clasificación, Fermentación, Algoritmo

ABSTRACT

The present Multidisciplinary Project is about the design of an automatic Prototype of Cocoa Quality using hyperspectral images, the project was developed under the DMADV methodology (Define, Measure, Analyze, Design and Verify), with the general objective of improving the accuracy in the Classification of cocoa fermentation. In the first phase of the project, the customer requirements were determined on the new system of classification of fermentation of Cacao through the VOC with interviews with the manager of the Exporter and the people of quality control, where these were transformed into requirements of Design through the QFD. The process of Exporting a Lot of Cocoa was diagrammed through the VSM to identify the percentage of activities that add and do not add value. Once the current situation of the Exporter was identified, the critical design factors were identified, which were obtained through the QFD and FMEA, and then a prioritization with the Design Team through the Impact-Effort Matrix. Once the design factors are prioritized, the proposed solutions are implemented, and several tests are carried out to determine the validity of the equipment. Finally, favorable results were obtained, eliminating the subjectivity in the fermentation classification and differentiating the type of Cocoa either National or CCN51, however the desired objective could not be reached, since this requires a longer training time to the classification algorithm, so that task would be beyond the scope of the project.

Keywords: Cocoa, Design, Clasification, Fermentation, Algorithm

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | I |
| <i>ABSTRACT</i> | II |
| ÍNDICE GENERAL..... | III |
| ABREVIATURAS | VI |
| SimBOLOGÍAS | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS | XI |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1 Descripción del problema | 2 |
| 1.1.1 Variable de la Medición | 3 |
| 1.1.2 Alcance del Proyecto..... | 6 |
| 1.2 Objetivos..... | 7 |
| 1.2.1 Objetivo General | 7 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 7 |
| 1.3 Marco teórico | 8 |
| CAPÍTULO 2..... | 15 |
| 2. Metodología | 15 |
| 2.1 Definición | 15 |
| 2.1.1 Declaración del Problema | 15 |
| 2.1.2 Identificación de las necesidades del cliente..... | 16 |
| 2.1.3 Casa de la Calidad (QFD)..... | 17 |
| 2.2 Medición | 20 |
| 2.2.1 Plan de Recolección de Datos | 20 |

| | | |
|-----------------|---|----|
| 2.2.2 | Validación de Datos | 21 |
| 2.2.3 | Estratificación de Datos..... | 23 |
| 2.2.4 | Estratificación de Datos..... | 25 |
| 2.2.5 | Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)..... | 26 |
| 2.3 | Análisis | 28 |
| 2.3.1 | Factores de Priorización obtenidos a través del QFD | 28 |
| 2.3.2 | AMEF | 30 |
| 2.3.3 | Matriz Impacto Esfuerzo..... | 33 |
| 2.3.4 | Verificación de Factores de Diseño..... | 35 |
| 2.4 | Etapa de Diseño | 41 |
| 2.4.1 | Soluciones Propuestas..... | 41 |
| 2.4.2 | Evaluación y Selección de Propuestas de Diseño | 43 |
| 2.4.3 | Plan de Implementación | 45 |
| 2.4.4 | Implementación de Soluciones | 47 |
| 2.5 | Etapa de Verificación y Control..... | 54 |
| CAPÍTULO 3..... | | 58 |
| 3. | Resultados y Análisis | 58 |
| 3.1 | Resultados Generales | 58 |
| 3.2 | Resultados Específicos..... | 60 |
| 3.2.1 | Análisis R&R por Atributos | 60 |
| 3.2.2 | Parámetro Análisis de Factibilidad Económica | 69 |
| 3.2.3 | Resultados del Análisis de Factibilidad Económica..... | 72 |
| CAPÍTULO 4..... | | 74 |
| 4. | Conclusiones y Recomendaciones | 74 |
| 4.1 | Conclusiones | 74 |
| 4.2 | Recomendaciones | 75 |

| | |
|-------------------|----|
| BIBLIOGRAFÍA..... | 76 |
| APÉNDICES | 79 |

ABREVIATURAS

| | |
|-------------|---|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| ANECACAO | Asociación Nacional de Exportadores de Cacao |
| AGROCALIDAD | Agencia de regulación y Control Fito Zoosanitario |
| AMEF | Análisis de modo de Efecto y Fallos |
| QFD | Quality Function Deployment |
| VOC | Voice of Customer |
| 5W+1H | What, Who, Where, When, How Many and How. |
| DSFF | Design for Six Sigma |
| R&R | Repetibilidad y Reproducibilidad |
| TIR | Tasa Interna de Retorno |
| VAN | Valor Actual Neto |
| VOC | Voice to Customer |
| CTQ'S | Critical to Quality Tree |
| VSM | Value Stream Mapping |
| DFSS | Design for Six Sigma |
| INEN | Instituto Ecuatoriano de Normalización |
| R&R | Repetibilidad y Reproducibilidad |
| TMAR | Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento |
| SIPOC | Supplier Input Process Output Customer |
| CPU | Central Processing Unit |

SIMBOLOGÍAS

| | |
|------|------------|
| Ton | Tonelada |
| lm | Lúmenes |
| Kg | Kilogramo |
| % | Porcentaje |
| mín. | Mínimo |
| máx. | Máximo |
| m | Metro |
| mm | Milímetro |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Cadena de Valor del Cacao..... | 1 |
| Figura 1.2 Exactitud de la Clasificación de Fermentación de Cacao | 3 |
| Figura 1.3 Requisitos de Calidad en grano beneficiado..... | 4 |
| Figura 1.4 Muestras de Cacao para Evaluar la Fermentación..... | 4 |
| Figura 1.5 Diagrama SIPOC del proceso de Exportación de Cacao..... | 6 |
| Figura 1.6 Cacao de Exportación, Anecacao..... | 8 |
| Figura 1.7 Ilustración Seis Sigma | 11 |
| Figura 2.1 Herramienta 4W+2H..... | 15 |
| Figura 2.2 VOC..... | 16 |
| Figura 2.3 CTQ..... | 17 |
| Figura 2.4 QFD..... | 18 |
| Figura 2.5 Reunión con las personas de la exportadora..... | 19 |
| Figura 2.6 Equipo de Diseño del proyecto..... | 19 |
| Figura 2.7 Verificación de Datos..... | 22 |
| Figura 2.8 Verificación de Datos 2..... | 22 |
| Figura 2.9 Diagrama de Pastel Datos confiables del Análisis de Fermentación | 23 |
| Figura 2.10 Requisitos de calidad del cacao para exportación..... | 24 |
| Figura 2.11 Diagrama de Pareto del tipo de cacao más exportado..... | 24 |
| Figura 2.12 Porcentaje de calificación por parte de La exportadora y Agrocalidad. .. | 25 |
| Figura 2.13 Promedio de la Exactitud por tipo de fermentación..... | 26 |
| Figura 2.14 Factores Priorizados del QFD..... | 29 |
| Figura 2.15 Equipo de Diseño del Prototipo | 30 |
| Figura 2.16 Reunión con el Equipo de Diseño..... | 31 |
| Figura 2.17 AMEF..... | 32 |
| Figura 2.18 Matriz Impacto-Esfuerzo | 34 |
| Figura 2.19 Anecacao Y Agrocalidad..... | 37 |
| Figura 2.20 Imágenes Hiperespectrales | 38 |
| Figura 2.21 Fotografías con Diferentes Resoluciones..... | 39 |
| Figura 2.22 Esquema de iluminación para la cámara..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.23 Layout del prototipo automático clasificador de fermentación de cocoa . | 40 |
| Figura 2.24 Plan de Implementación de Diseño | 41 |
| Figura 2.25 Matriz Impacto-esfuerzo | 44 |
| Figura 2.26 Tomar fotos a los granos de cacao con una cámara profesional..... | 47 |
| Figura 2.27 Construcción de una caja fotográfica con luz led..... | 48 |
| Figura 2.28 Portal Web donde debe Ingresar su ID..... | 48 |
| Figura 2.29 Portal web donde realizan clasificación de Fermentación | 49 |
| Figura 2.30 Algoritmo que permite cortar la fotografía de los granos de cacao de cada uno. | 49 |
| Figura 2.31 Análisis R&R de los datos obtenidos de la clasificación de fermentación. | 50 |
| Figura 2.32 Instalación del sistema Operativo Debian (Linux) al CPU Industrial | 51 |
| Figura 2.33 Instalación de los Drivers de la cámara Hiperespectrales | 51 |
| Figura 2.34 Instalación de Cámara Monocromática..... | 52 |
| Figura 2.35 Instalación de Tornillo sin fin con motor de paso | 52 |
| Figura 2.36 Instalación de Espectrógrafo | 53 |
| Figura 2.37 Instalación de Lámparas Halógenas..... | 53 |
| Figura 2.38 Expertos que Contribuyeron con la Simulación de la Clasificación de Fermentación. | 54 |
| Figura 2.39 Data Extraída de la Página Web..... | 55 |
| Figura 2.40 Algoritmo Básico de Clasificación | 56 |
| Figura 3.1 Resultado del Prototipo de Diseño | 59 |
| Figura 3.2 Clúster por Tipo de Fermentación y tipo de Cacao..... | 59 |
| Figura 3.3 Experto tomado como Estándar en el análisis del Grupo #1 | 61 |
| Figura 3.4 Análisis R&R por Atributos entre el Estándar y cada Evaluador | 61 |
| Figura 3.5 Valores de Kappa de Fleiss entre el parámetro vs los Expertos del Grupo 1 | 62 |
| Figura 3.6 Porcentaje de Concordancia entre los Expertos vs Estándar | 63 |
| Figura 3.7 Experto tomado como Estándar en el análisis del Grupo #2 | 64 |
| Figura 3.8 Análisis R&R por Atributos entre el Estándar y cada Evaluador | 64 |
| Figura 3.9 Valores de Kappa de Fleiss entre el Estándar vs los Expertos del Grupo 2 | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.10 Porcentaje de Concordancia entre los Expertos vs Estándar | 65 |
| Figura 3.11 Análisis R&R por Atributos entre el Estándar y cada Evaluador 2 veces | 66 |
| Figura 3.12 Valores de Kappa de Fleiss entre el Estándar vs los Expertos 2 veces del Grupo 1 | 66 |
| Figura 3.13 Análisis R&R por Atributos entre cada Evaluador y el Estándar | 67 |
| Figura 3.14 Valores de Kappa de Fleiss entre el Estándar vs los Expertos 2 veces del Grupo 1 | 67 |
| Figura 3.15 Análisis R&R del Experto 1, 2 y Estándar | 68 |
| Figura 3.16 Resultados finales del análisis de R&R | 69 |
| Figura 3.17 Precios de tipo de Cacao para Exportación | 71 |
| Figura 3.18 Resultado del Análisis de la Factibilidad Económica | 72 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1 Registro de Calificación de Fermentación de granos de cacao | 5 |
| Tabla 2.1 Plan de Recolección de Datos | 20 |
| Tabla 2.2 Plan de Recolección de Datos | 21 |
| Tabla 2.3 Factores Potenciales de Diseño | 33 |
| Tabla 2.4 Matriz de Factores de Diseño | 33 |
| Tabla 2.5 Nivel de Control de Matriz Factores de Diseño | 34 |
| Tabla 2.6 Nivel de Impacto de Matriz Factores de Diseño | 34 |
| Tabla 2.7 Plan de Verificación de Factores de Diseño | 36 |
| Tabla 2.8 Soluciones a Implementar | 42 |
| Tabla 2.9 Soluciones a Implementar | 43 |
| Tabla 2.10 Soluciones a Implementar | 43 |
| Tabla 2.11 Soluciones a Implementarse | 45 |
| Tabla 2.12 Plan de Implementación a Solución 1 | 45 |
| Tabla 2.13 Plan de Implementación a Solución 2 y 3 | 46 |
| Tabla 2.14 Plan de Implementación a Solución 2 y 3 | 46 |
| Tabla 2.15 Plan de Implementación a Solución 2 y 3 | 47 |
| Tabla 2.16 Plan de Control para el Diseño del Prototipo | 57 |
| Tabla 3.1 Resultados del Proyecto por cada Carrera | 58 |
| Tabla 3.2 Tabla de Concordancia, fuente (Hospital Universitario Ramón y Cajal) | 60 |
| Tabla 3.3 Costo Total de Fabricación del Equipo | 70 |
| Tabla 3.4 Cálculo de Costo de Oportunidad | 71 |
| Tabla 3.5 Ingresos Anuales | 71 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Según el Ministerio de Agricultura (marzo,2017) “Ecuador pasó a ser el principal exportador de cacao en grano del continente americano y el cuarto del mundo”, esto se debe por sus condiciones geográficas que se encuentra el país y sus recursos naturales. Ecuador por excelencia es el productor de cacao “Arriba fino” y cacao de “Aroma”, lo cual representa el 63% de la producción mundial en este tipo de cacao. En el Ecuador existe la asociación nacional de exportadores de cacao (Anecacao) lo cual vela por el bienestar y desarrollo del sector productor y exportador del país, esta identidad está conformada por 31 socios exportadores. Todos los exportadores de cacao tienen que cumplir ciertos requisitos para comercializar el grano de cacao a nivel mundial, entre ellos está la inspección de control de calidad que frecuentemente es realizada por parte de la Agencia de regulación y Control Fito Zoosanitario (Agrocalidad), lo cual como autoridad competente su objetivo gubernamental es controlar la producción orgánica durante toda la cadena productiva del cacao de los diferentes cultivos que se realizan en el país. El presente proyecto está orientado a diseñar un Prototipo de Control Automático de Calidad de Cacao Usando Imágenes Hiperespectrales que permita identificar la fermentación del grano de cacao de forma objetiva y con una mejor exactitud. A Continuación, en la Figura 1.1 se muestra la cadena de valor del cacao.



Figura 1.1 Cadena de Valor del Cacao

Elaborado por: Nelson Arias

1.1 Descripción del problema

Actualmente, la exportadora presenta discrepancias en los resultados de la clasificación de fermentación de cacao con la Agencia reguladora de calidad del gobierno (Agrocalidad), esto se debe principalmente a la subjetividad de cada inspector al momento de calificar, ya que el análisis de fermentación se lo realiza de forma visual. Si estos resultados no llegan a cumplir los controles de calidad por parte de la Agencia Reguladora, el lote no podrá ser embarcado y esto ocasionaría el retraso del pedido del cliente, además se perderían los trámites aduaneros del embarque lo que a su vez esto podría generarse un incumplimiento al contrato establecido con el cliente sobre la fecha de entrega, penalizaciones monetarias y hasta la cancelación total del pedido. Estos inconvenientes ponen a la exportadora a requerir una solución a esta problemática. Para llevar a cabo el proyecto fue necesario realizar un estudio con la metodología DFSS (Design for Six Sigma), para realizar el diseño de prototipo de control automático de calidad de cacao usando imágenes hiperespectrales que permita determinar la clasificación de fermentación de cacao con una mejor exactitud y de forma objetiva.

En la Figura 1.2 se puede ver la exactitud de la clasificación de fermentación de la exportadora vs Agrocalidad, desde febrero 2018 hasta octubre 2018

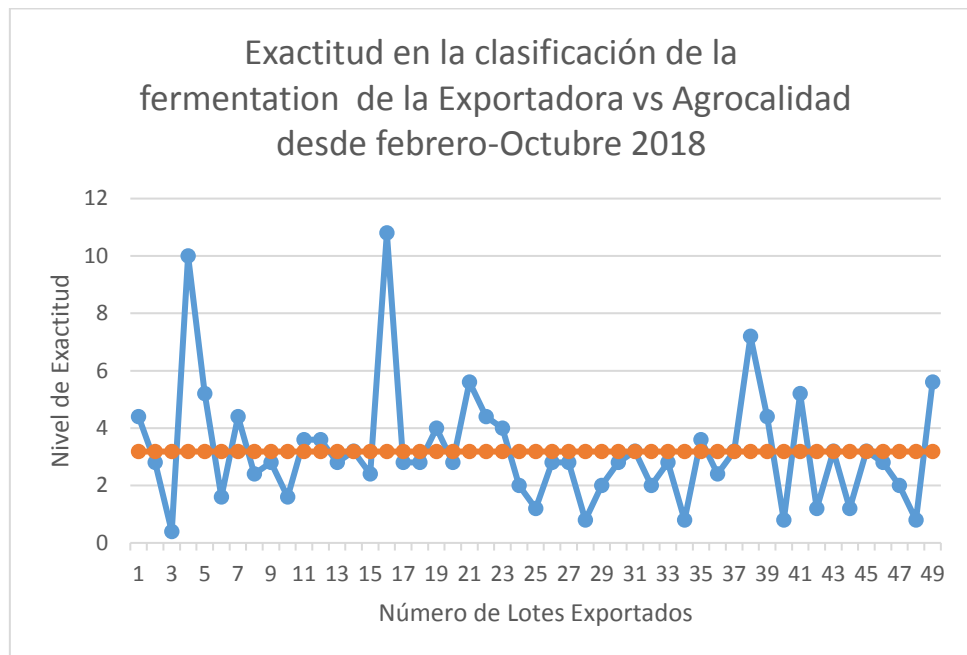


Figura 1.2 Exactitud de la Clasificación de Fermentación de Cacao
Elaborado por: Nelson Arias

“La Exactitud de la clasificación de fermentación de cacao de la Exportadora de Cacao, ubicado en el km 1,5 vía Duran-Tambo actualmente es de 3.18 granos de cacao de diferencia, mientras que la empresa desea reducir en 1.60 granos de cacao de diferencia.

1.1.1 Variable de la Medición

Para determinar la variable de medición se la obtiene de la siguiente manera:

1. Ver qué tipo de Cacao en grano va a exportarse, los tipos de Cacao en grano a exportarse se pueden ver en la figura 1.3

TABLA 1. Requisitos de calidad del cacao en grano beneficiado

| REQUISITOS | UNIDAD | ARRIBA | | | | | CCN51 |
|---|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | A.S.S.P.S | A.S.S.S | A.S.S | A.S.N. | A.S.E. | |
| Cien granos pesan | g | 135-140 | 130-135 | 120-125 | 110-115 | 105-110 | 135-140 |
| Buena fermentación (mín.) | % | 75 | 65 | 60 | 44 | 26 | ***65 |
| Ligera fermentación* (mín.) | % | 10 | 10 | 5 | 10 | 27 | 11 |
| Violeta (máx.) | % | 10 | 15 | 21 | 25 | 25 | 18 |
| Pizarroso (pastoso) (máx.) | % | 4 | 9 | 12 | 18 | 18 | 5 |
| Moho (máx.) | % | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 |
| TOTALES (análisis sobre 100 pepas) | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Defectuosos (análisis sobre 500 gramos) (máx.) | % | 0 | 0 | 1 | 3 | **4 | 1 |
| TOTAL FERMENTADO (mín.) | % | 85 | 75 | 65 | 54 | 53 | 76 |

Figura 1.3 Requisitos de Calidad en grano beneficiado

Fuente: Agrocalidad

2. Recolectar en una muestra los granos de cacao y seleccionar 100 granos aleatoriamente y cortarlos transversalmente. A continuación en la figura 1.4 se puede observar las muestras de cacao.



Figura 1.4 Muestras de Cacao para Evaluar la Fermentación

Elaborado por: Nelson Arias

Contar los 100 granos de cacao cortados y comenzarlos a clasificar de forma visual anotándolos en la tabla 1.1:

Tabla 1.1 Registro de Calificación de Fermentación de granos de cacao

| Tipo de fermentación | Calificación del Exportador | Calificación de Agrocalidad | Diferencia absoluta $Z= F_i-F'_i $ |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Buena Fermentación | F_1 | F'_1 | Z_1 |
| Ligera Fermentación | F_2 | F'_2 | Z_2 |
| Violeta | F_3 | F'_3 | Z_3 |
| Pizarro | F_4 | F'_4 | Z_4 |
| Moho | F_5 | F'_5 | Z_5 |
| TOTAL | <i>100</i> | <i>100</i> | <i>Exactitud</i> |

Elaborado por: Nelson Arias

Como se puede ver en la tabla 1.1 se tiene F_i y F'_i , el exportador es F_i y Agrocalidad es F'_i califican la misma muestra, sin embargo, tienen diferentes criterios al momento de determinar el tipo de fermentación.

3. Para el agente de Agrocalidad, tiene que realizar el mismo procedimiento, los resultados de la evaluación por parte de él serán anotados en la misma tabla 1.1 (Ref. Tabla 1.1)

Como se puede observar existen 5 tipos de fermentación, esto se determinó mediante la Norma NTE INEN 176 (figura 1.3). Una vez determinado la diferencia absoluta, se calcula el promedio de cada categoría de fermentación. A continuación, se presenta la fórmula para determinar la exactitud de la clasificación de fermentación de cacao.

(1.1)

$$Exactitud = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

Esta métrica es la variable de medición, es la que se utiliza para determinar el nivel de exactitud en la determinación del grado de fermentación del grano de cacao

1.1.2 Alcance del Proyecto

Se define el alcance del proyecto con la ayuda de un Diagrama SIPOC, esta herramienta permite observar de manera general, las entradas y salidas de cada proceso, de esta forma se identificará las delimitantes del proyecto. A continuación en la figura 1.5 se muestra el diagrama SIPOC de la exportadora.



Figura 1.5 Diagrama SIPOC del proceso de Exportación de Cacao.

Elaborado por: Nelson Arias

El proyecto se enfocará en mejorar el área de control de calidad de la exportadora con el nuevo sistema de clasificación, en esta etapa del proceso el cacao está listo para exportarse, se realiza el análisis de clasificación de fermentación del lote del cacao previamente fumigado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Mejorar la exactitud en la clasificación de la fermentación de cacao mediante el diseño y validación de un Prototipo de Control Automático de Calidad de Cacao Usando Imágenes Hiperespectrales para la clasificación de fermentación de cacao.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar una valoración financiera para la comercialización de un Prototipo de Control Automático de Calidad de Cacao Usando Imágenes Hiperespectrales que determina la clasificación de la fermentación de los granos de cacao.

2. Medir, analizar y verificar el proceso de clasificación de fermentación en el área de control de calidad después de la fumigación.

3. Realizar un análisis R&R. (Repetibilidad y Reproducibilidad) a los resultados de la simulación de clasificación de fermentación de cacao por parte de los Expertos.

4. Crear una Data Base con información sobre la fermentación de Granos de Cacao dada por expertos en Cacao para el entrenamiento del algoritmo de clasificación de imágenes hiperespectrales para analizar automáticamente el nivel de fermentación de los granos de cacao.

5. Diseñar e implementar ensayos para la clasificación de la fermentación del grano de cacao

Considerando que este es un proyecto multidisciplinario, el primer objetivo será desarrollado por la carrera de Ingeniería en Negocios

Internacionales, el segundo y tercer objetivo será llevado por la carrera de Ingeniería industrial. así mismo el 4 y 5 objetivo será llevado por la carrera de Ingeniería en Computación e Ingeniería Industrial.

1.3 Marco teórico

Cacao:

El cacao (*Theobroma cacao*) pertenece a la familia de las malváceas, es el componente principal para la elaboración del chocolate. Es la semilla de un árbol que alcanza entre 6 y 10 metros de altura y que se desarrolla bajo el dosel de la selva. (McCulloch, 2018)



Figura 1.6 Cacao de Exportación, Anecacao

Fermentación de Cacao:

Proceso que elimina los restos de pulpa pegados al grano matando el germen dentro del grano, de esta forma inicia el desarrollo del aroma sabor y color de la almendra. (Lutheran World Relief, 2016)

Imágenes Hiperespectrales:

Es aquella que reproduce la figura de un objeto en función de la longitud de onda recopilando y procesando información a lo largo de todo el espectro electromagnético. (Shippert, 2004)

Bits de Resolución:

Es la Resolución que puede ofrecer una muestra digital, es decir el número de niveles de voltaje que puede valer la muestra digital, este número está relacionado con potencia de 2, es decir una resolución de 12 bits es 4096 niveles diferentes de resolución. (Alicea Photo Gallery Inc -Salvador Alicea - Aprende Fotografía Digital, 2013)

Cámara Monocromática:

Dispositivo electrónico capaz de tomar fotos a una luz que predomina casi exclusivamente una única longitud de onda, es decir produce imágenes en un único color básico que se extiende añadiendo tonalidades oscuras y claras (Blanco y Negro). (ESPACIO PROFUNDO, 2018)

Espectro:

es una imagen o representación que puede presentarse en fenómenos o investigaciones científicas, o bien, asociada a un escenario sobrenatural o imaginario. (Sistema Solar, 2015)

Píxel:

es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital. (Latinoamericana, 2018)

Lúmenes

Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de potencia luminosa emitida por una fuente. (Abaco Proyector, 2019)

Algoritmo

es un conjunto reescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien lo ejecute. (CALVO, 2015)

Debian

es un sistema operativo libre que tiene Linux como núcleo ,desarrollado por miles de voluntarios alrededor del mundo, que colaboran a través de Internet. (Debian Org, 2017)

Exactitud:

Es el grado de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando. La exactitud me indica que tan cerca se encuentra del resultado correcto. (Soporte Minitab 18, 2017)

DSFF:

DFSS o DMADV es un método de administración de procesos de negocios relacionado con Six Sigma tradicional cuya función principal es determinar las necesidades de los clientes y la empresa. El DFSS tiene como objetivo crear un proceso con el fin de construir de manera óptima las eficiencias de la metodología Sigma en el proceso antes de la implementación. (El-Haik, 2009)

D-Definir (Define)

M-Medir (Measure)

A-Analizar (Analyse)

D-Diseñar (Design)

V-Verificar (Verify).

En cada una de estas fases, se utilizan herramientas de calidad y técnicas estadísticas para realizar el proyecto basado en acciones, hechos y datos.

Six Sigma:

Es una metodología de mejora de procesos creada en la década de los 80's. esta metodología está centrada en la reducción de la variabilidad, consiguiendo reducir o eliminar defectos en la entrega de un producto o servicio. (Maxey, 2005)

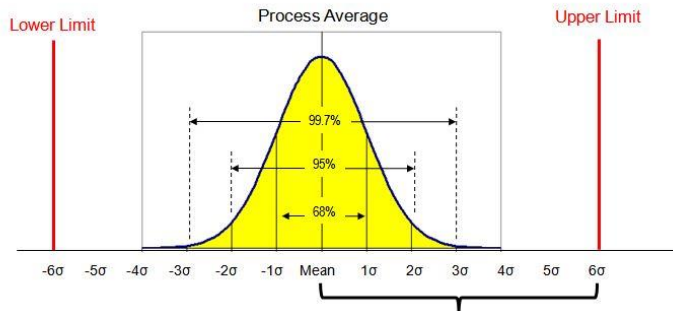


Figura 1.7 Ilustración Seis Sigma

Fuente: leansixsigmadefinition

Definir:

Es la parte inicial de la metodología, esta etapa se define que es lo importante en el proyecto, la declaración del problema, los requerimientos del cliente, el alcance del proyecto, el equipo de trabajo, y los objetivos generales y específicos. Las herramientas utilizadas en esta etapa son el Diagrama SIPOC, VOC (Voice to Customer), 5W+H, CTQ's. (Maxey, 2005)

Medir:

En esta etapa se enfoca en 2 cosas principales, conocer el estado actual del problema y enfocar el problema definido en la etapa anterior. Para conocer el estado actual del problema se levanta información actual de la empresa a través de un diagrama de flujo o VSM para tener un flujo más detallado del proceso. En esta etapa se definen variables métricas que ayudan a establecer la línea base del problema. Para enfocar el problema definido, los requerimientos del cliente son transformados en requerimientos funcionales del producto o servicio a través del QFD, se identifica variables cualitativas y cuantitativas mediante una estratificación de datos. (Maxey, 2005)

Analizar:

En esta etapa se identifica que está mal en mi problema, se identifica todos los factores críticos de diseño o las causas potenciales que afectan a mi problema. Se realiza una matriz de impacto esfuerzo para estratificar cuales son mis causas que generan mayor impacto y que requieran el menor esfuerzo posible. Si se trata de Diseño se realiza un AMEF (Análisis de Modo Efecto de Fallos), esta herramienta permite identificar problemas potenciales o errores y sus posibles efectos en un sistema para priorizarlos y concentrarlos en planes de prevención supervisión y respuesta. Una vez analizada las causas potenciales ya sea por gemba o herramientas estadísticas se realiza el plan de Verificación de los factores críticos de Diseño. (Maxey, 2005)

Diseñar:

Después de determinar los requerimientos funcionales para el nuevo diseño, se necesita desarrollarlo designando entidades que llevaran a cabo los requerimientos funcionales. Para esto se puede usar tecnología ya existente o algún diseño conocido. Para poder analizar y evaluar el diseño se puede hacer el uso de la matriz de impacto esfuerzo para estratificar cuales son mis factores de diseño más críticos, es decir que me generen mayor impacto y menor esfuerzo, AMEF herramienta que permite identificar problemas potenciales o errores y sus posibles efectos en un sistema para priorizarlos y concentrarlos en planes de prevención suspensión y respuesta. (Maxey, 2005)

Verificar

Una vez definidos los parámetros y tolerancias del diseño, se procederá a la verificación final y la validación. Para verificar que el producto cumpla con las expectativas con el cliente se realizan pruebas pilotos para evaluar y tomar medidas de corrección si amerita el caso. Es muy importante comunicar el que, cuando como, quien del nuevo producto o servicio. (Maxey, 2005)

VOC:

Es una herramienta de mejora continua que permite identificar los requerimientos del cliente, esto me permite enfocar y determinar mi problema. (El-Haik, 2009)

CTQ's:

Herramienta Lean Six Sigma que ayuda a trasladar las VOC en una necesidad específica del cliente que puede ser medible. (El-Haik, 2009)

5W 1H:

Técnica que permite identificar factores y condiciones de un problema. (Pensamiento Creativo, 2014)

QFD:

Es un diagrama que permita definir la relación entre los requerimientos del cliente y los requerimientos técnicos y específicos de productos. Esta técnica es muy utilizada para definir nuevos productos que se vayan a realizar. (El-Haik, 2009)

VSM:

Es una herramienta de Lean que me representa gráficamente cada uno de los procesos en el flujo de material e información, esta herramienta permite identificar las diferentes fuentes de desperdicio. (El-Haik, 2009)

Matriz Impacto-Esfuerzo:

Es una herramienta que permite visualmente identificar los pros y los contras de posibles soluciones al problema. Esta herramienta permite dar prioridades al momento de seleccionar la solución más adecuada tomando en cuenta el nivel de dificultad al momento de implementarlo y el nivel de impacto positivo de los beneficios que conllevaría. (Group Map, 2019)

AMEF:

Conjunto de Directrices que identifica problemas potenciales y sus posibles efectos en un sistema para priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta. Para este proyecto se utiliza una derivación del AMEF que es El D-AMEF, AMEF para diseño que su objetivo es reducir los riesgos por errores en el diseño. (El-Haik, 2009)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolló bajo la metodología DFSS mencionada anteriormente con la finalidad de diseñar un nuevo producto o servicio. En este proyecto se Diseñará un prototipo que permitirá Identificar la clasificación de fermentación de cacao de una manera más exacta y objetiva.

2.1 Definición

En esta etapa consiste en presentar al equipo de trabajo del proyecto, escuchar los requerimientos del cliente, transformar esos requerimientos en variables métricas que se puedan medir, definir el problema y los objetivos del proyecto. Para esto se utilizaron herramientas como VOC (Voice to customer), CTQ, SIPOC, 4W+2H.

2.1.1 Declaración del Problema

Mediante la herramienta 4W+2H (Figura 2.1 se puede identificar la definición de problema

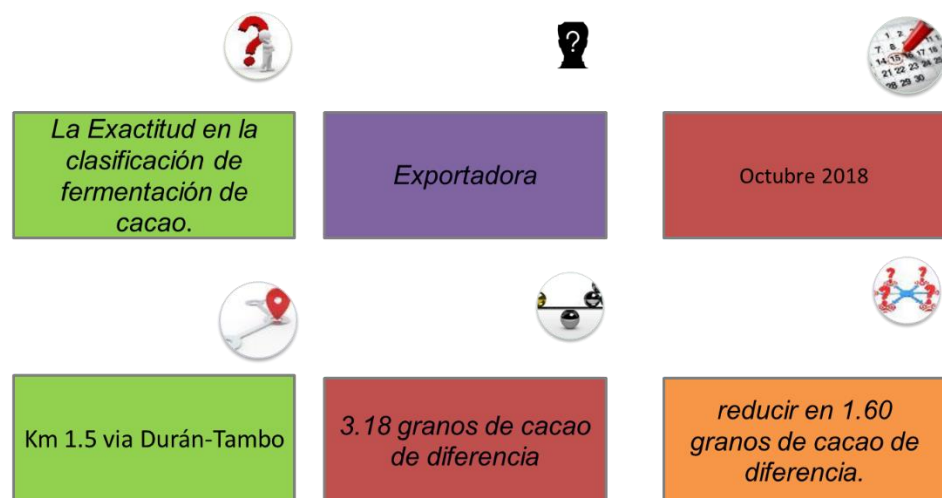


Figura 2.1 Herramienta 4W+2H

Elaborado por: Nelson Arias

“La Exactitud en la clasificación de fermentación de cacao de la Exportadora de Cacao en octubre del 2018, ubicado en el km 1,5 vía Duran-Tambo actualmente es de 3.18 granos de cacao de diferencia, mientras que la empresa desea reducir a 1.60 granos de cacao de diferencia.

2.1.2 Identificación de las necesidades del cliente

A través del VOC se pudo obtener los requerimientos cliente, esto se logró mediante una entrevista con el gerente general de la exportadora. A continuación, en la Figura 2.2 se muestra el VOC.



Figura 2.2 VOC

Elaborado por: Nelson Arias

Posteriormente estos requerimientos del cliente fueron transformados en variables que se puedan cuantificar, es decir métricas para obtener resultados y poder hacer una comparación si se trata de mejorar un proceso o un análisis de validación si se

trata del diseño de un producto o servicio. Esto se hizo a través del CTQ's, A continuación en la Figura 2.3 se muestra el CTQ'.

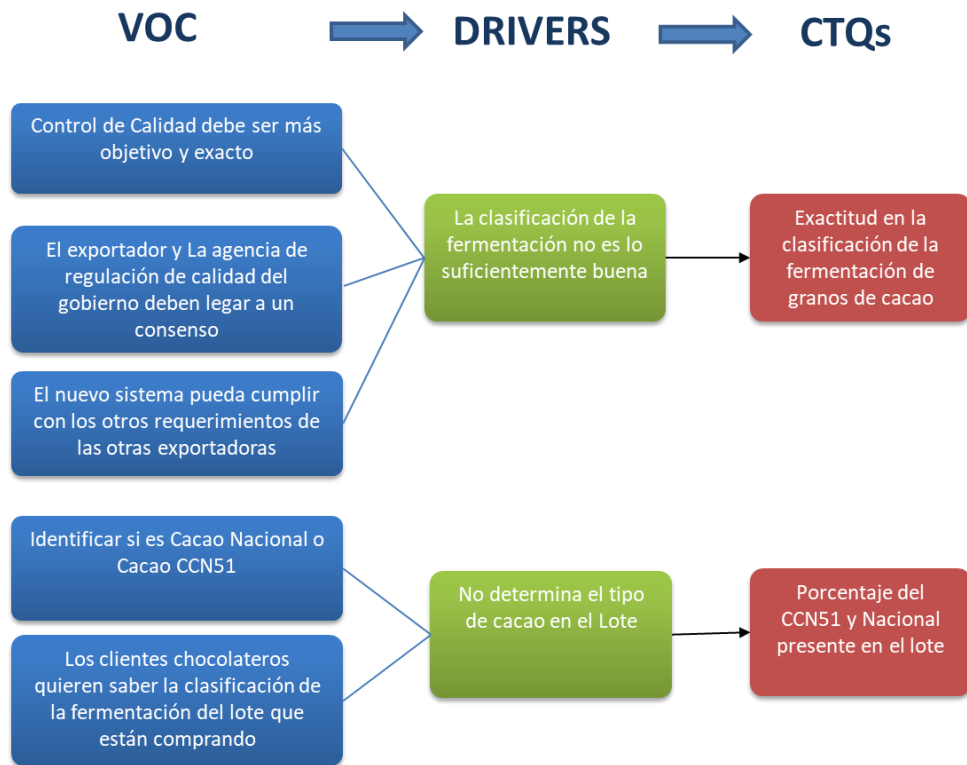


Figura 2.3 CTQ

Elaborado por: Nelson Arias

2.1.3 Casa de la Calidad (QFD).

La casa de la calidad es una herramienta de Lean que permite traducir los requerimientos del cliente en requerimientos técnicos del Producto/Servicio. A continuación, en la figura 2.4 se muestra el QFD.






| #Filas | Peso relativo | Importancia del cliente | Máxima correlación | Requerimientos del cliente (Explicito e Implícito) | #Columnas | | | | |
|----------------------------|---------------|-------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 22% | 5 | 9 | El control de calidad de ser más exacto y mas objetivo | • | • | • | | |
| 2 | 22% | 5 | 9 | El exportador y la Agencia Regulatoria del gobierno deben llegar a un consenso | ▽ | ▽ | • | | ▽ |
| 4 | 17% | 4 | 3 | La máquina pueda cumplir con los requerimientos de los otros exportadores | ○ | ○ | ▽ | | ▽ |
| 5 | 17% | 4 | 9 | Los clientes chocolateros puedan saber el porcentaje de fermentación del lote que están comprando | | ○ | ▽ | • | • |
| 6 | 22% | 5 | 9 | Diferenciar el tipo de cacao y fermentación en la clasificación | | | ▽ | | • |
| Máxima correlación | | | | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Importancia del ratio | | | | | 269.57 | 321.74 | 447.83 | 156.52 | 391.3 |
| Peso relativo | | | | | 17% | 20% | 28% | 10% | 25% |
| Peso relativo gráficamente | | | | |  |  |  |  |  |

Figura 2.4 QFD

Elaborado por: Nelson Arias

Para la elaboración del QFD se lo hizo con el equipo de diseño del proyecto y el personal de la exportadora, los requerimientos del cliente se los obtuvo del VOC, estos se determinaron mediante entrevistas con el gerente general de la exportadora, el jefe de producción y la persona encargada del control de calidad. Una vez

obtenidos los requerimientos del cliente, estos fueron traducidos en requerimientos técnicos, estos deben estar dentro del diseño del equipo propuesto, esta traducción se lo hizo con el equipo de diseño. Los requerimientos del cliente van en fila y los requerimientos técnicos van en la columna. A continuación, en la figura 2.5 se evidencia la reunión con las personas de la exportadora.



Figura 2.5 Reunión con las personas de la exportadora
Elaborado por: Nelson Arias





| | |
|---|---|
|  | <p>Ing. Oswaldo Bayona</p> <ul style="list-style-type: none"> • Líder del Equipo de Diseño • Desarrollo del Algoritmo de Reconocimiento |
|  | <p>Julio Guilindro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Creación de la Página web para Base de Datos • Instalación del software en CPU Industrial |
|  | <p>Nelson Arias</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de la Base de Datos para entrenamiento de algoritmo • Análisis Repetibilidad y Reproducibilidad |
|  | <p>Guido Duchi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de Drivers en CPU Industrial • Instalación del software en CPU Industrial |
|  | <p>María Belén Guaranda</p> <p>Calibración del Prototipo</p> |
|  | <p>Sthephany Valarezo</p> <p>Diseño del Prototipo</p> |

Figura 2.6 Equipo de Diseño del proyecto

Elaborado por: Nelson Arias

2.2 Medición

En esta etapa se ilustrará más a fondo la situación actual del problema, levantando la información actual mediante mapeo de procesos, elaborar un plan de recolección de datos de cómo se realizará el diseño e implementación del sistema por visión por computadora. Además, se necesitará verificar los datos obtenidos para determinar la confiabilidad de estos.

2.2.1 Plan de Recolección de Datos

Al ser un proyecto multidisciplinario, existen variables críticas de Interés que se necesitará verificar como se realizará esas actividades. A continuación, en la tabla 2.1 y 2.2 se presenta el plan de recolección de datos el actual desarrollo del proyecto.

Tabla 2.1 Plan de Recolección de Datos

Elaborado por: Nelson Arias

| Quien Atiende | Definición Operacional | Estratificación de Datos | Tipo de Data | Nota |
|--------------------|--|---|--------------|--|
| Nelson | Información registrada de la fermentación en el cuaderno | Que: toneladas de granos de cacao | Continuous | Cada registro debe ser después del análisis de de calidad, esto es presentado a agrocaldad |
| | | Cuando: después de la fumigación | | |
| | | Donde: control de calidad | | |
| | | Por que: post-análisis | | |
| Nelson | Sistema de identificación de lotes de cacao comprado | Que: toneladas de granos de cacao | Continuous | Cada lote que se compra es registrar los parámetros físicos para determinar las condiciones iniciales |
| | | Cuando: después de la compra | | |
| | | Donde: Control de calidad | | |
| | | Porque: post-análisis | | |
| Nelson Julio Guido | Calificación de los expertos en la web | Que: Toneladas de grano de cacao | Continuous | Cada muestra tendrá una codificación que pasará por todos los inspectores, por lo que el evaluador analizará la misma muestra sin errores. |
| | | Cuando: en el exeperimento con la máquina | | |
| | | Donde: cvr laboratorio Espol | | |
| | | Por que: para el entrenamiento de la | | |

Tabla 2.2 Plan de Recolección de Datos

Elaborado por: Nelson Arias

| Método de Observación | Como se Hizo | How/ Where Recorder | Collection Method |
|-----------------------|--|--|-------------------------------------|
| Observación Indirecta | Se realizará el análisis de calidad y se registrará la clasificación de la fermentación en el formato establecido. | El único autorizado para registrarse será la persona de control de calidad, al final de la hoja será la firma del responsable. | Formulación de recolección de Datos |
| Observación Indirecta | Se realizará el análisis de calidad y se registrará la clasificación de la fermentación en el formato establecido. | El único autorizado para registrarse será la persona de control de calidad, al final de la hoja será la firma del responsable. | Formulación de recolección de Datos |
| Observación Indirecta | Cada muestra analizada se codificará con el nombre de la persona inspeccionada y el número de muestra. Esto se realizará visualmente en una pantalla que proyectará la semilla de cacao. | Cada inspector tendrá una identificación y contraseña para la validación del sistema. La calificación de cada inspector se registrará en una máquina de base de datos. | Formulación de recolección de Datos |

2.2.2 Validación de Datos

Una vez realizado el plan de recolección de datos se procede a realizar la confiabilidad de los datos, en este caso se verificará el registro final del análisis de clasificación de fermentación de cacao. Como se puede ver en la figura 2.7, primero se registra todos los análisis de control en el cuaderno de borrador y después son escritos en la carpeta al final. Para poder identificar el registro final del análisis, la persona escribe la palabra “Sacos Plumeados”. Esto quiere decir que el lote de Cacao está ya en los sacos para exportarse.

Registro a Borrador

Registro en Carpeta

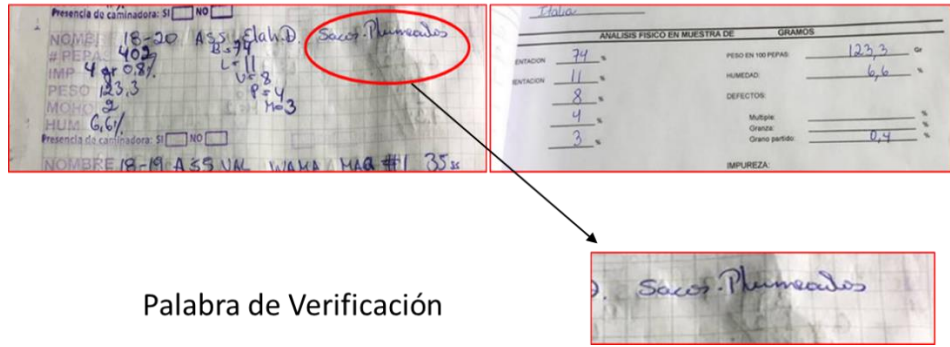


Figura 2.7 Verificación de Datos 1

Elaborado por: Nelson Arias

Una vez identificado el registro final del análisis de fermentación, se tomaron varias muestras de registros del cuaderno y de la carpeta para determinar la confiabilidad de los datos, se procedió a comparar si lo que estaba registrado en el cuaderno coincidía con el registro hecho en la carpeta. A Continuación, en la Figura 2.8 se muestra la verificación de datos 2.

| 18-16 | | 18-17 | | 18-18 | | 18-19 | | 18-20 | | 18-21 | |
|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA |
| 64 | 64 | 78 | 61 | 65 | 65 | 75 | 75 | 74 | 74 | 59 | 61 |
| 14 | 14 | 6 | 2 | 20 | 20 | 12 | 12 | 11 | 11 | 19 | 22 |
| 15 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 14 | 11 |
| 7 | 7 | 5 | 6 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 6 | 4 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 101 | 101 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 18-23 | | 18-24 | | 18-26 | | 18-30 | | 18-31 | | 18-32 | |
| CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA |
| 61 | 61 | 54 | 71 | 71 | 71 | 65 | 65 | 77 | 77 | 75 | 75 |
| 19 | 19 | 22 | 14 | 12 | 12 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 12 | 12 | 14 | 8 | 10 | 10 | 14 | 14 | 4 | 4 | 8 | 8 |
| 7 | 7 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 18-34 | | 18-35 | | 18-36 | | 18-38 | | 18-39 | | 18-40 | |
| CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA |
| 66 | 66 | 66 | 66 | 70 | 70 | 69 | 69 | 63 | 63 | 68 | 68 |
| 17 | 17 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 15 | 15 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 13 | 13 | 11 | 11 | 8 | 6 | 14 | 14 | 11 | 13 |
| 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 5 | 4 | 4 | 6 | 6 |
| 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 18-42 | | 18-43 | | 18-51 | | 18-53 | | 18-54 | | | |
| CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | CUADERNO | CARPETA | | |
| 54 | 54 | 72 | 72 | 65 | 65 | 67 | 67 | 66 | 66 | | |
| 19 | 19 | 13 | 13 | 17 | 17 | 19 | 19 | 19 | 19 | | |
| 17 | 7 | 9 | 9 | 11 | 11 | 9 | 9 | 8 | 8 | | |
| 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 6 | 6 | | |
| 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| 100 | 90 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |

Figura 2.8 Verificación de Datos 2

Elaborado por: Nelson Arias

Porcentaje de confiabilidad de datos

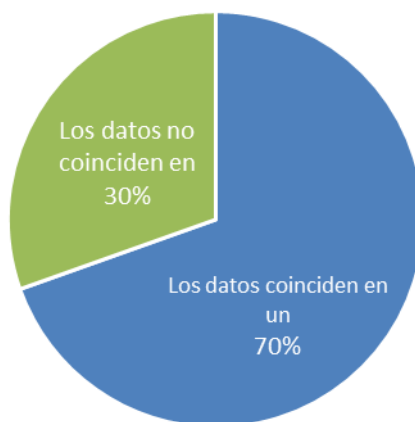


Figura 2.9 Diagrama de Pastel Datos confiables del Análisis de Fermentación
Elaborado por: Nelson Arias

Se tomaron 23 anotaciones y se puede evidenciar en la figura 2.9 que no todos los datos coinciden, existen errores humanos al momento de sobre escribir el análisis registrado en la carpeta final. por lo que se pudo concluir que el 30% de los datos no fueron traspasados correctamente, solo el 70% de los datos si fueron pasados correctamente. Por lo que se puede inferir es que mis datos son confiables en un 70%.

2.2.3 Estratificación de Datos

La exportadora actualmente trabaja con 3 tipos de cacao para exportación el ASS, ASE Y CCN51. En la figura 2.10 se puede apreciar todos los tipos o clases de cacao de exportación.

| TABLA 1. Requisitos de calidad del cacao en grano beneficiado | | | | | | | |
|--|---|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| REQUISITOS | UNIDAD | ARRIBA | | | | | CCN51 |
| | | A.S.S.P.S | A.S.S.S | A.S.S | A.S.N. | A.S.E. | |
| Cien granos pesan | g | 135-140 | 130-135 | 120-125 | 110-115 | 105-110 | 135-140 |
| Buena fermentación (mín.) | % | 75 | 65 | 60 | 44 | 26 | ***65 |
| Ligera fermentación* (mín.) | % | 10 | 10 | 5 | 10 | 27 | 11 |
| Violeta (máx.) | % | 10 | 15 | 21 | 25 | 25 | 18 |
| Pizarroso (pastoso) (máx) | % | 4 | 9 | 12 | 18 | 18 | 5 |
| Moho (máx.) | % | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 |
| TOTALES (análisis sobre 100 pepas) | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Defectuosos (análisis sobre 500 gramos) (máx). | % | 0 | 0 | 1 | 3 | **4 | 1 |
| TOTAL FERMENTADO (mín.) | % | 85 | 75 | 65 | 54 | 53 | 76 |
| A.S.S.P.S | Arriba Superior Summer Plantación selecta | | | | | | |
| A.S.S.S | Arriba Superior Summer Selecto | | | | | | |
| A.S.S. | Arriba Superior Selecto | | | | | | |
| A.S.N. | Arriba Superior Navidad | | | | | | |
| A.S.E. | Arriba superior Época | | | | | | |
| * Coloración marrón violeta | | | | | | | |
| ** Se permite la presencia de granza solamente para el tipo A.S.E. | | | | | | | |
| *** La coloración varía de marrón a violeta | | | | | | | |

Figura 2.10 Requisitos de calidad del cacao para exportación.

Elaborado por: Agrocalidad

De acuerdo con el histórico que se obtuvo de las exportaciones de febrero 2018-octubre 2018, se realizó un análisis de Pareto (figura 2.11) para determinar el tipo de cacao que más exporta la empresa.

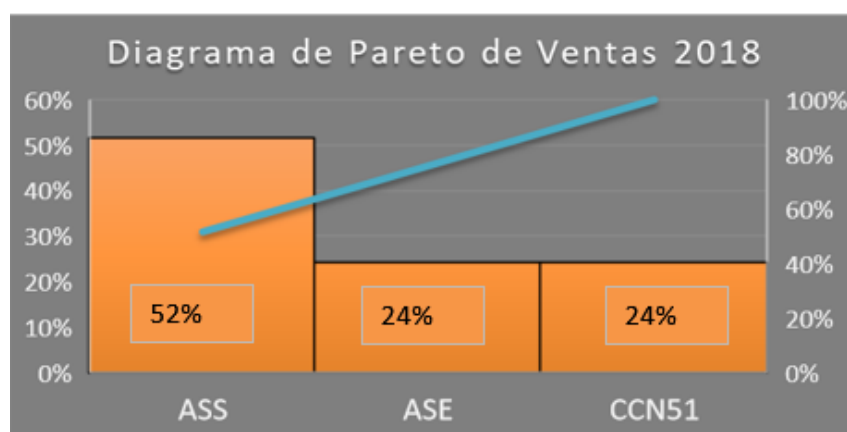


Figura 2.11 Diagrama de Pareto del tipo de cacao más exportado.

Elaborado por: Nelson Arias

2.2.4 Estratificación de Datos.

Para la estratificación de datos se realizó un análisis estadístico para determinar cuál de las 2 identidades, la exportadora o Agrocalidad es más estricta al momento de realizar el análisis de fermentación (figura 2.12). Al referirse más estricta quiere decir quien obtiene menos granos en la calificación de cada categoría. Para llevar a cabo esto se lo analizó a partir de la serie de tiempo desde febrero del 2018 hasta octubre del 2018, de todas las exportaciones que se realizaron.

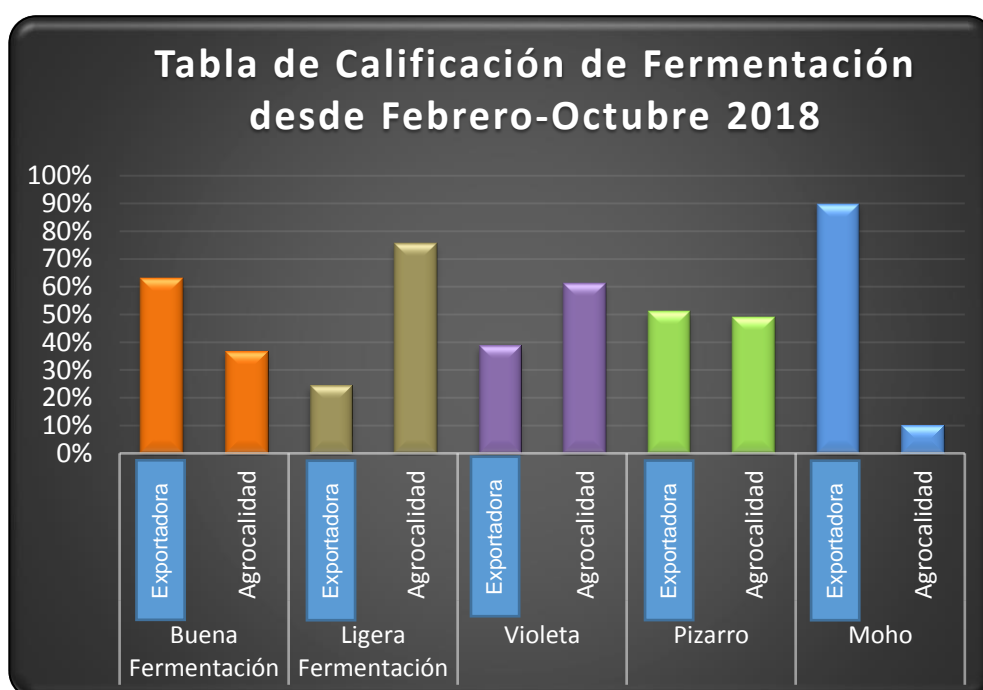


Figura 2.12 Porcentaje de calificación por parte de La exportadora y Agrocalidad.

Elaborado por: Nelson Arias

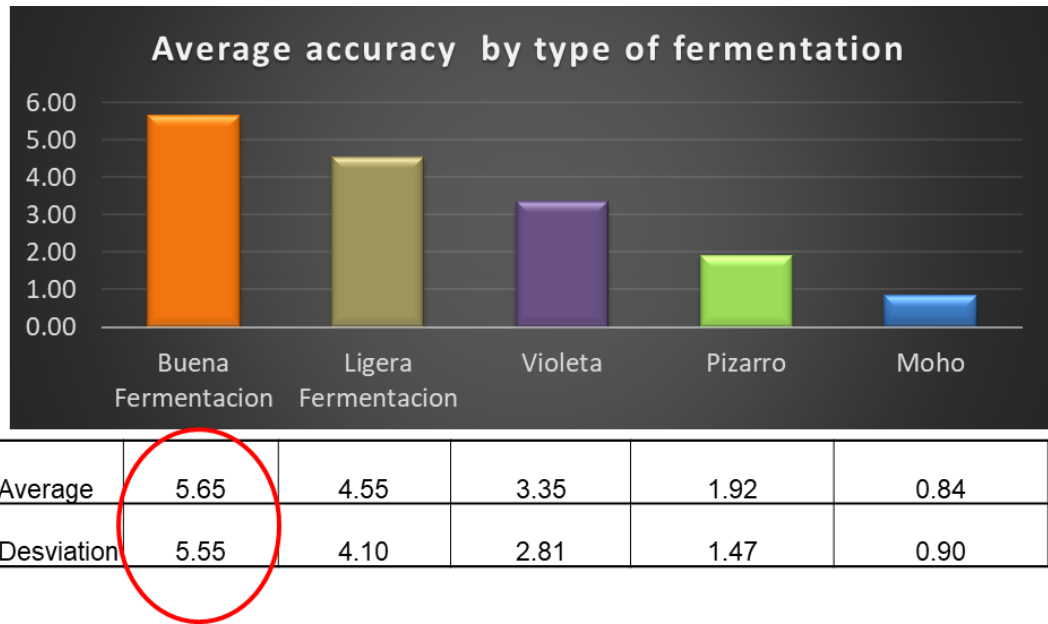


Figura 2.13 Promedio de la Exactitud por tipo de fermentación
Elaborado por: Nelson Arias

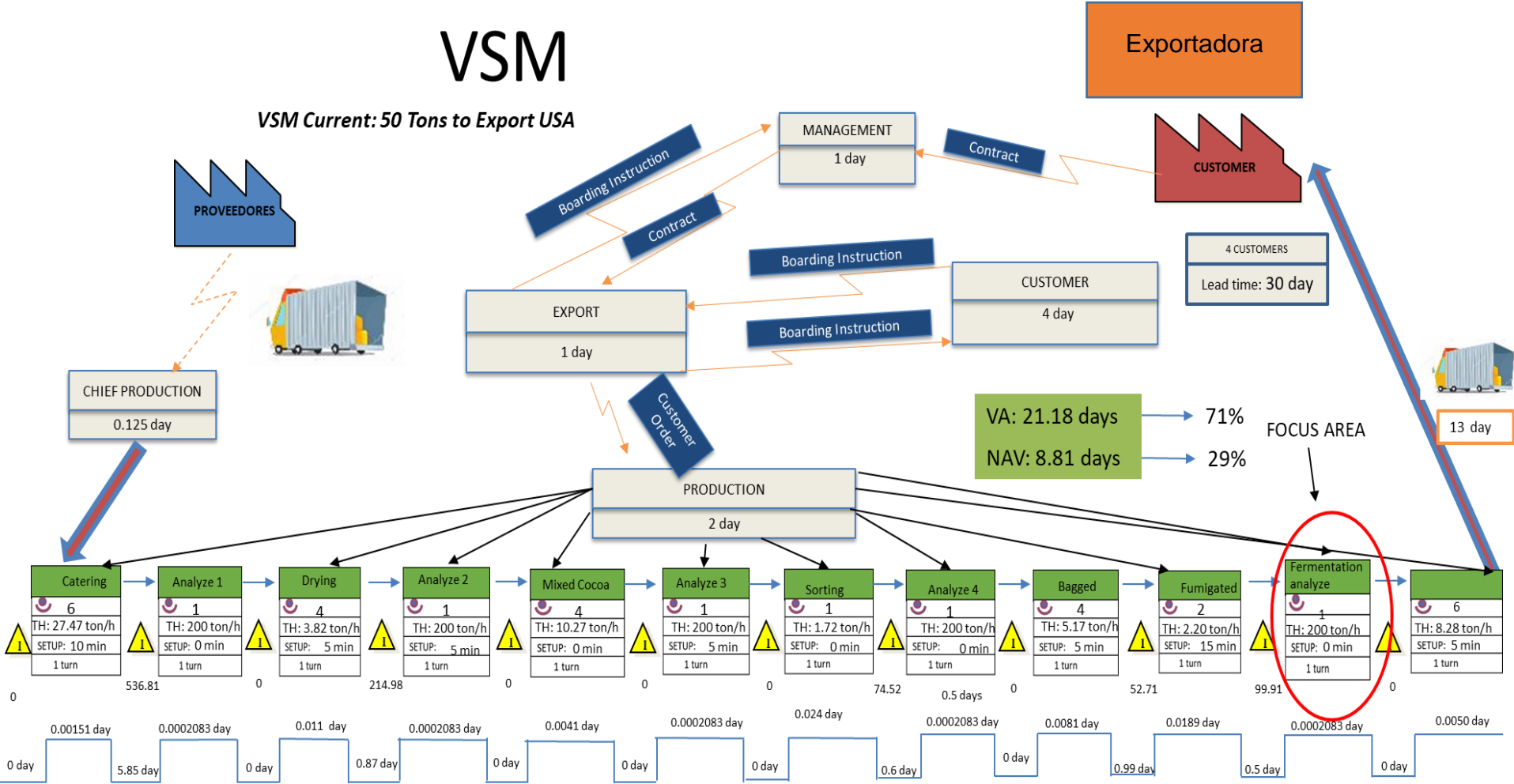
Como se puede apreciar en la figura 2.13, la categoría de buena fermentación tiene el mayor promedio y desviación estándar, esto quiere decir que tienen un promedio de 5.65 granos de cacao de diferencia los expertos de la exportadora y Agrocalidad respecto a al momento de realizar la clasificación de fermentación, cabe recalcar que esta es la categoría más crítica ya que el cliente es la que da mayor prioridad al momento de realizar la compra.

2.2.5 Mapeo de la Cadena de Valor (VSM)

Con esta Herramienta se puede ver claramente el tiempo total que el cliente pone la orden hasta que le llega el Cacao. El Lead time para 50 toneladas de exportación hacia los Estados Unidos es aproximadamente 30 días. de este tiempo total solo el 29% agrega valor, es decir 8.81 días. A continuación, se muestra el VSM de la exportadora

VSM

VSM Current: 50 Tons to Export USA



2.3 Análisis

Una vez que se definió el problema de exactitud de la fermentación de cacao, identificando la situación actual del problema, se procede a realizar el análisis del problema. En esta etapa de análisis se vuelve a enfocar en la etapa de Definición, sobre todo en el QFD (figura 2.4) ya que se priorizó los factores de diseño, estos fueron priorizados con el fin de que sean una Entrada en la matriz de priorización Impacto-Esfuerzo.

2.3.1 Factores de Priorización obtenidos a través del QFD

Una vez priorizados los factores de diseño sobre la máquina clasificadora de fermentación de cacao como se puede ver en la figura 2.14 se enfocarán principalmente en estos factores para la parte del diseño del prototipo automático de Calidad de Cacao Usando Imágenes Hiperespectrales.

| #Filas | Peso relativo | Importancia del cliente | Máxima correlación | Requerimientos del cliente (Explicito e Implícito) | #Columnas | | | | |
|----------------------------|---------------|-------------------------|--------------------|---|-----------|--------|--------|--------|-------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 22% | 5 | 9 | El control de calidad de ser más exacto y mas objetivo | • | • | • | | |
| 2 | 22% | 5 | 9 | El exportador y la Agencia Regulatoria del gobierno deben llegar a un consenso | ▽ | ▽ | • | | ▽ |
| 4 | 17% | 4 | 3 | La máquina pueda cumplir con los requerimientos de los otros exportadores | ○ | ○ | ▽ | | ▽ |
| 5 | 17% | 4 | 9 | Los clientes chocolateros puedan saber el porcentaje de fermentación del lote que están comprando | | ○ | ▽ | • | • |
| 6 | 22% | 5 | 9 | Diferenciar el tipo de cacao y fermentación en la clasificación | | | ▽ | | • |
| Máxima correlación | | | | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Importancia del ratio | | | | | 269.57 | 321.74 | 447.83 | 156.52 | 391.3 |
| Peso relativo | | | | | 17% | 20% | 28% | 10% | 25% |
| Peso relativo gráficamente | | | | | | | | | |

Figura 2.14 Factores Priorizados del QFD

Elaborado por: Nelson Arias

Para priorizar los factores de diseño se hizo mediante ponderaciones, estas fueron la correlación entre los requerimientos del cliente con los factores de diseño. La otra ponderación fue el nivel de importancia dado por el cliente. Una vez establecidos estas ponderaciones se hace la priorización, obteniendo 3 factores más importantes.

Como se puede ver tenemos 3 factores en que nos enfocaremos principalmente para la parte del diseño de la máquina clasificadora de fermentación de cacao, estos son los siguientes:

- La data base para el algoritmo de clasificación debe ser creada por los expertos de Agrocalidad y Anecacao
- El algoritmo pueda identificar el tipo y la cantidad de cacao en el lote
- Identificar la Fermentación con Imágenes Hiperespectrales

2.3.2 AMEF

El análisis de Modo y efecto de Falla se lo realizó con el equipo de diseño (figura 2.15) de la máquina que se muestra a continuación.



Figura 2.15 Equipo de Diseño del Prototipo

Elaborado por: Nelson Arias

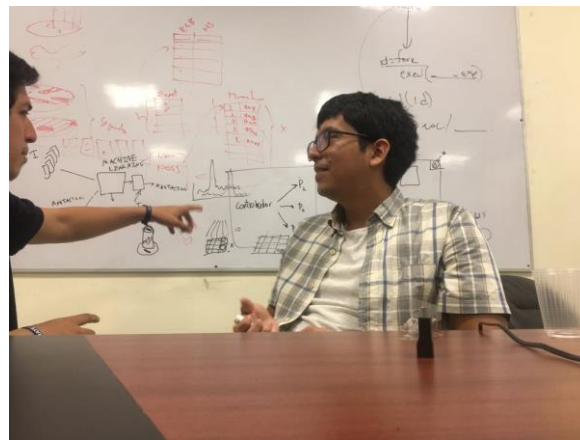


Figura 2.16 Reunión con el Equipo de Diseño
Elaborado por: Nelson Arias

Una vez definido los componentes a utilizarse para el diseño de la máquina clasificadora se realizó el AMEF que se muestra en la figura 2.17.

Análisis de Modo y Efecto de Falla

AMEF de Diseño

Producto: __ Prototipo Automático de calidad de cacao

Responsable de Diseño: __ Equipo de Diseño

Equipo de Trabajo: _ Equipo de Diseño

Fecha de Elaboración: 7/01/2019

| Producto | Función | Fallo | | | | Causa | Controles | G | O | D | NPR |
|--|------------------------------------|---------------------------|---|--|---|--|---|----|---|----|-----|
| | | Componente/Pi eza | Requerimientos de Diselo | Modo de Falla | Efecto | | | | | | |
| Sistema de Adquisición de Imágenes Hiperespectra les | Tomar Imágenes Hiperespectrales | Cámara Monó cromática | Tomar fotos del espectro (Grano de Cacao) a una resolución de 12 bits | Que esté manchado el sensor | Foto con Manchas | Entra Polvo/ Párculas a la Cámara | Siempre dejar tapado la camara | 9 | 5 | 7 | 315 |
| | | | | Demasiado Pixeles Muertos | Foto Oscura | Tiempo de Uso | Ninguno | 7 | 1 | 7 | 49 |
| | | | | Los parámetros de la cámara no están seteados | Foto Sobreexpuesta/Oscura | El Archivo de Configuración Fue Modificado | Revisar antes de escanear check list | 1 | 3 | 8 | 24 |
| | | Slider | Facilitar Movimientos de los dispositivos de captura e iluminacion con un desplazamiento de 0.04 mm | No se mueva | No escanea la Imagen | Motor / Problema Eléctrico | Ninguno | 9 | 5 | 9 | 405 |
| | | | | Muy Rápida | Se hace un Submuestreo | Mala Configuración en el Programa | Revisar los parámetros antes de escanear | 2 | 4 | 8 | 64 |
| | | | | Muy Lento | Sobremuestreo | Mala Configuración en el Programa | Revisar los parámetros antes de escanear | 2 | 4 | 9 | 72 |
| | | CPU | Controlar el Software del sistema durante 8 horas | Se dañe los Puertos de Entrada | No acciona movimiento del Slider y la Cámara no recibe Imágenes | Cambio de Voltaje/ Uso del CPU | Ninguno | 7 | 1 | 9 | 63 |
| | | | | Que tenga Virus Informático | No funciona Equipo | No Antivirus/ Descarga de Archivos Desconocidos | Ninguno | 7 | 3 | 3 | 63 |
| | | Espectógrafo | Realizar la descomposicion de la luz mediant un slit | No descomponga la luz en sus diferentes longitudes de onda | los datos obtenidos están incorrectos | Daño por golpe | Ninguno | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | Sistema de Iluminacion | Proveer 1100 lúmenes a la cámara | que no prenda el foco | no se obtiene una buena foto | el foco esté dañado | Poseen un Ups | 3 | 4 | 10 | 120 |
| | | | | que luz esta parpadeando | no se obtiene una buena foto | variación del voltaje | Poseen un Ups | 4 | 3 | 7 | 84 |

Figura 2.17 AMEF

Elaborado por: Nelson Arias

Los factores de diseño más críticos mediante la calificación NPR, se muestran en la tabla 2.3:

Tabla 2.3 Factores Potenciales de Diseño

| Factor de Diseño | Causas Potenciales |
|---|--|
| Tomar fotos del espectro (Grano de Cocoa) a una resolución de 12 bits | Entre Polvo a la cámara/ Partículas |
| Facilitar Movimientos de los dispositivos de captura e iluminación con un desplazamiento de 0.04 mm | Fallas en el Motor del Slider/ Problema Eléctrico en el Slider |
| Realizar la descomposición de la luz mediante un slit | Daño por golpe |
| Proveer 1100 lúmenes a la cámara | el foco esté averiado |

Elaborado por: Nelson Arias

2.3.3 Matriz Impacto Esfuerzo

Una vez priorizados los factores de diseño obtenidos en el QFD (figura 2.14) y en el AMEF (figura 2.17) se realiza la matriz Impacto-Esfuerzo para priorizar que factores de diseño se tendrá un mayor control al momento de implementar el diseño y establecer un control para su funcionamiento. A Continuación, en la tabla 2.4 se muestra la matriz de factores de diseño.

Tabla 2.4 Matriz de Factores de Diseño

| Matrix de Factores de Diseño | | | |
|------------------------------|------|---|---|
| Inputs | QFD | 1 | La data base para el algoritmo de reconocimiento deber ser creados por expertos de Agrocalidad y Anecacao |
| | | 2 | Identificar del tipo de cacao con imágenes Hiperespectrales |
| | | 3 | Identificar la Fermentación con imágenes Hiperespectrales |
| | AMEF | 4 | Cámara tome fotos al espectro (Granos de Cocoa) con una resolución de 12 bits |
| | | 5 | Facilitar Movimientos de los dispositivos de captura e iluminación con un desplazamiento de 0.04 mm |
| | | 6 | Realizar la descomposición de la luz mediante un slit |
| | | 7 | Proveer alrededor de 1100 lúmenes con 2 lámparas halógenas a la cámara |

Elaborado por: Nelson Arias

Tabla 2.5 Nivel de Control de Matriz Factores de Diseño

| Niveles de Control (x) | |
|------------------------|------|
| Alto Control | 8-10 |
| Medio Control | 4-7 |
| Bajo Control | 1-3 |

Elaborado por: Nelson Arias

Tabla 2.6 Nivel de Impacto de Matriz Factores de Diseño

| Nivel de Impacto (y) | |
|----------------------|------|
| Alto Impacto | 8-10 |
| Medio Impacto | 4-7 |
| Bajo Impacto | 1-3 |

Elaborado por: Nelson Arias

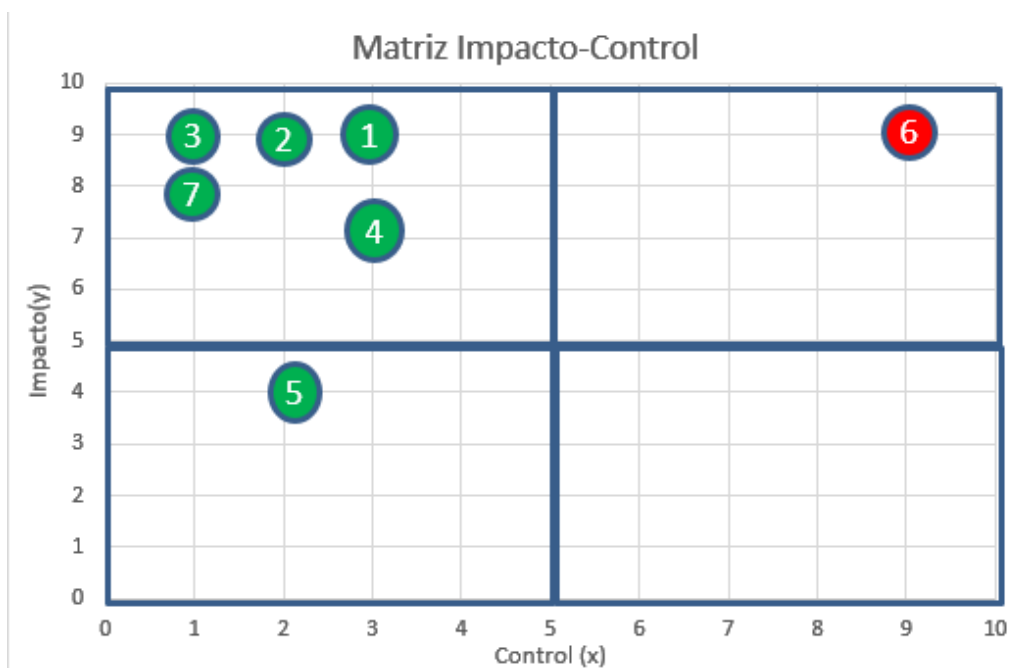


Figura 2.18 Matriz Impacto-Esfuerzo

Elaborado por: Nelson Arias

Para la elaboración de la matriz se la hizo con el equipo de diseño, cabe recalcar que como es un proyecto multidisciplinario se tuvo que explicar brevemente en qué consistía esta matriz y cuáles son sus beneficios al momento de aplicarla. Se prioriza cual genera un gran impacto y genera el menos esfuerzo al momento de implementar estos factores en el diseño del prototipo.

Como se puede observar en la tabla 2.7 los factores de diseño más críticos son los siguientes:

- La data base para el algoritmo de reconocimiento deber ser creados por expertos de Agrocalidad y Anecacao.
- Identificar del tipo de cacao con imágenes hiperespectrales.
- Identificar la fermentación con imágenes hiperespectrales.
- Cámara tome fotos al espectro (Granos de Cocoa) con una resolución de 12 bits.
- Proveer alrededor de 1100 lúmenes con 2 lámparas halógenas a la cámara.

2.3.4 Verificación de Factores de Diseño

En la Tabla 2.7 se muestra el plan de verificación de Factores de Diseño

Tabla 2.7 Plan de Verificación de Factores de Diseño

| No. | Factores Potenciales | Impacto | Como fue Verificada | Estado |
|-----|--|---|------------------------------------|------------|
| 1 | La data base para el algoritmo de reconocimiento deber ser creados por expertos de Agrocalidad y Anecacao. | Si no se crea una buena línea base para el algoritmo, este tendrá un error en la clasificación | Entrevista con el equipo de diseño | Verificado |
| 2 | Identificar el tipo de cacao mediante imágenes hiperespectrales | Con este tipo de imágenes, las características del grano pueden ser identificadas con una mejor exactitud | Entrevista con el equipo de diseño | Verificado |
| 3 | Identificar la clasificación de fermentación de cacao mediante imágenes hiperespectrales | Con este tipo de imágenes, las características del grano pueden ser identificadas con una mejor exactitud | Entrevista con el equipo de diseño | Verificado |
| 4 | Cámara que toma fotos al espectro (Cocoa Bean) con una resolución de 12 bits. | Foto con muy buena resolución que permitirá una visualización más precisa al calificar el grano de cacao | Entrevista con el equipo de diseño | Verificado |
| 5 | Proveer alrededor de 1100 lúmenes con 2 lámparas halógenas a la cámara | Foto con muy buena iluminación que permitirá una visualización más precisa al calificar el grano de cacao | Entrevista con el equipo de diseño | Verificado |

Elaborado por: Nelson Arias

1. “La data base para el algoritmo de reconocimiento deber ser creados por expertos de Agrocalidad y Anecacao”.

La data base es indispensable para el entrenamiento del algoritmo de clasificación ya que mediante la inteligencia artificial se desarrollará su capacidad de reconocer el grado de fermentación de cacao.

La calificación que realicen los expertos de Agrocalidad y Anecacao debe ser lo más cercano a la realidad. A continuación se muestra en la figura 2.19 las identidades para la creación de la data base.



**Figura 2.19 Anecacao Y
Agrocalidad**

Elaborado por: Nelson Arias

2. “Identificar el tipo de cacao mediante imágenes hiperespectrales”
3. “Identificar la clasificación de fermentación de cacao mediante imágenes hiperespectrales.”

Al momento de analizar el espectro mediante imágenes hiperespectrales nos da mucha información sobre los factores físicos y químicos. Este tipo de reconocimiento se basa en escalas grises de colores, blanco y negro, con esto tipo de imágenes se puede identificar propiedades únicas que posee el grano, de esta forma se crearán clúster que posean estas mismas características y de esta forma se determine las diferentes clases de fermentación y tipos de pepas. A continuación se muestra en la figura 2.20 las imágenes hiperespectrales.

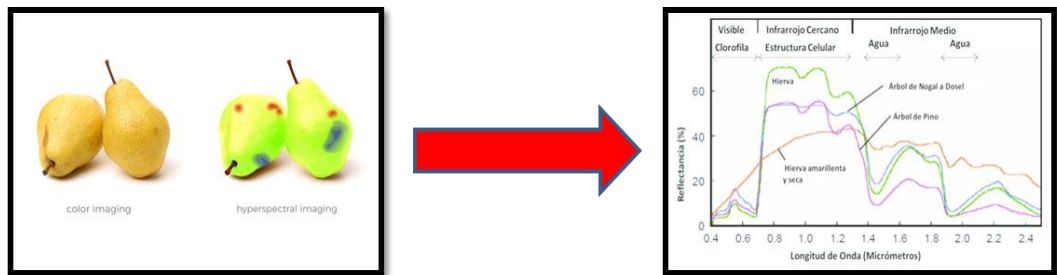


Figura 2.20 Imágenes Hiperespectrales

Elaborado por: Nelson Arias

4. "Cámara que toma fotos al espectro (cocoa bean) con una resolución de 12 bits."

Con este tipo de resolución se podrá obtener mucho más detalle del espectro que se esté analizando, en este caso el grano de cacao. Se utilizará una cámara monocromática (blanco y negro) con el fin de captar más información. A continuación, en la figura 2.20, se muestran diferentes fotos con diferentes bits de resolución. A continuación se muestra en la figura 2.21 las fotografías con diferentes resoluciones.



Cámara con resolución de 1 BIT



Cámara con resolución de 5 BIT



Cámara con resolución de 12 BIT

Figura 2.21 Fotografías con Diferentes Resoluciones.

Elaborado por: Nelson Arias

5. “Proveer alrededor de 1100 lúmenes con 2 lámparas halógenas a la cámara.”

De acuerdo con la entrevista de con el equipo de diseño se determinó que la cámara necesita alrededor de 110 lúmenes para tomar una excelente foto al espectro. Por lo que las lámparas halógenas son una buena elección. Entre sus ventajas están que frente a las lámparas convencionales pueden dar un 30% más de luminosidad y color blanca, con el pasar de las horas de uso no pierde la intensidad luminosa. A continuación se muestra en la figura 2.22 el esquema de iluminación de la cámara.

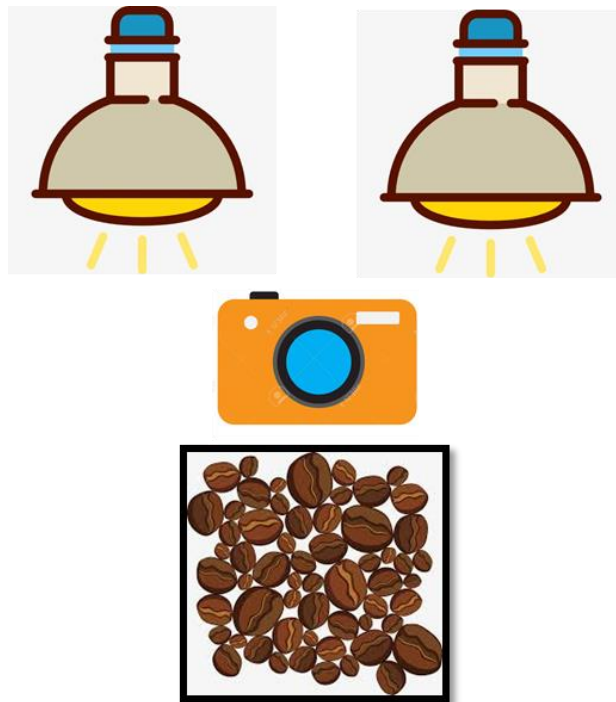


Figura 2.22 Esquema de iluminación para la cámara.
Elaborado por: Nelson Arias

A continuación, se muestra un layout de cómo quedaría el prototipo de diseño con todos los elementos mencionados anteriormente.

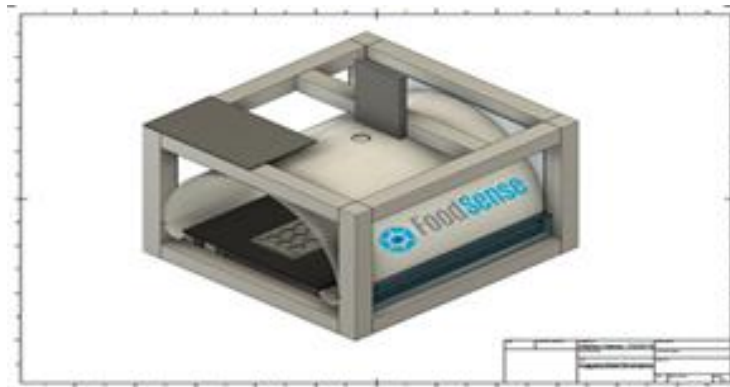


Figura 2.23 Layout del prototipo automático clasificador de fermentación de cocoa
Elaborado por: Estephany Valarezo

2.4 Etapa de Diseño

En la figura 2.24 se muestra el plan de implementación de diseño.

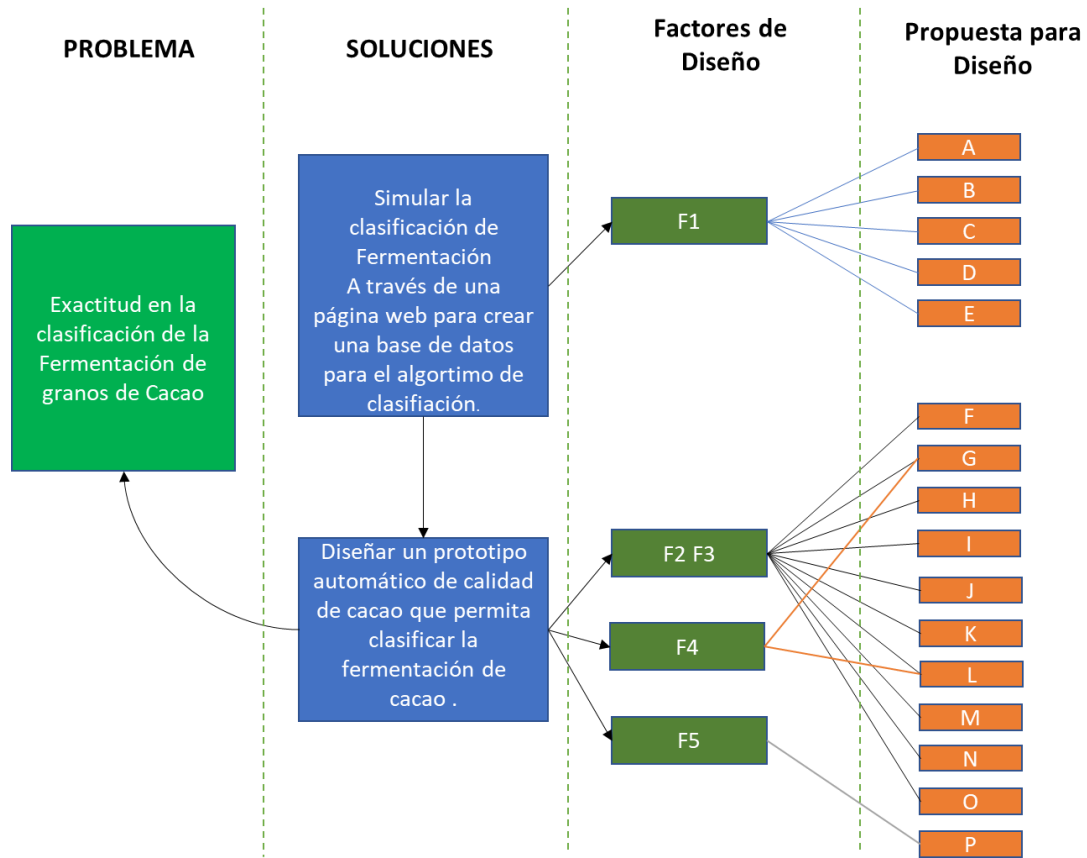


Figura 2.24 Plan de Implementación de Diseño

Elaborado por: Nelson Arias

Como se puede apreciar se tiene soluciones de diseño, éstas están ligadas con los factores de diseño. Finalmente, tenemos las propuestas de diseño a implementarse que se van a mostrar en la etapa de soluciones propuestas.

2.4.1 Soluciones Propuestas

Al ser un proyecto multidisciplinario, para poder determinar una mejor exactitud en la clasificación de fermentación de cacao se propone 2 soluciones. Las soluciones propuestas fueron previamente analizadas con el equipo de diseño. Estas son las siguientes:

- Simular la clasificación de fermentación a través de una página web para crear una base de datos para el algoritmo de clasificación.
- Diseñar un prototipo automático de calidad de cacao que permita clasificar la fermentación de cacao.

A continuación, se describe las soluciones y los factores potenciales relacionado a cada solución.

1. Simular la clasificación de fermentación a través de una página web para crear una base de datos para el algoritmo de clasificación.

Esta solución se relaciona con el primer factor potencial mostrado en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Soluciones a Implementar

| Solución | Factores Potenciales | Soluciones a implementar | No. |
|---|---|---|-----|
| Simular la clasificación de Fermentación A través de una página web para crear una base de datos para el algoritmo de clasificación. | 1. La data base pa ra el algoritmo de reconocimiento debe ser creada por expertos de Anecacao y Agrocalidad | Tomar fotos a los granos de cacao con una cámara profesional. | A |
| | | Construir una caja fotográfica para tomar fotos y adaptar a la cámara profesional | B |
| | | Crear un portal web donde las fotos de los granos de cacao serán subidas y varios expertos evaluarán la fermentación y tipo de cacao. | C |
| | | Programar un algoritmo que permita cortar las pepas de cacao y poder identificarlas cada una. | D |
| | | Realizar un análisis R y R also resultados de la simulación de experimentos con los expertos | E |

Elaborado por: Nelson Arias

2. Diseñar un prototipo automático de calidad de cacao que permita clasificar la fermentación de cacao.

Esta solución se relaciona con el segundo, tercero, cuarto y quinto factor potencial de diseño mostrado en la tabla 2.9 y 2.10.

Tabla 2.9 Soluciones a Implementar

| No. | Factores Potenciales | Soluciones a implementar | No. |
|---|---|--|----------|
| Diseñar un prototipo automático de calidad de cacao que permita clasificar la fermentación de cacao . | 2 y 3. Identificación de la fermentación y tipo de cocoa con imágenes hiperspectrales | Instalar el Sistema operativo Debian (Linux) en el CPU industrial. | F |
| | | Instalar los driver de las cámaras hiperspectrales. | G |
| | | Los resultados finales de la clasificación deben ser subidos a la nube. | H |
| | | Instalar sensores de detección de objeto en el Sistema de clasificación de cacao. | I |
| | | Ejecute el algoritmo de reconocimiento dentro de DEBIAN que admite las cámaras y la interfaz de usuario del sistema. | J |
| | | Construir un cortador automático para granos de cacao | K |
| | | Comprar una cámara monocromática con resolución de 12 bits y 1920x1200 píxeles | L |
| | | Instalar un tornillo sin fin de 300 mm de longitud con un motor que produce un par de torsión de 3,2 kg / cm | M |
| | | Instalar una banda transportadora que facilite el movimiento de los granos de cacao | N |
| | | Comprar un espectrógrafo con ranura lineal de 0.05 x 9.8 mm | O |

Elaborado por: Nelson Arias

Tabla 2.10 Soluciones a Implementar

| No. | Potential Factors/Cause | Solutions to implement | No. |
|---|--|--|----------|
| Diseñar un prototipo automático de calidad de cacao que permita clasificar la fermentación de cacao . | 4. Tomar fotos del espectro (Cocoa Bean) a una resolución de 12 bits | Cámara monocromática con resolución de 12 bits y 1920x1200 píxeles | L |
| | | Instalar los driver de las cámaras hiperspectrales. | G |
| | 5. Proveer aproximadamente 1100 lúmenes con ambas lámparas halógenas a la cámara | Comprar 2 lámparas halógenas de 550 lúmenes cada una.. | P |

Elaborado por: Nelson Arias

2.4.2 Evaluación y Selección de Propuestas de Diseño

Para la selección de las propuestas de diseño más factibles del presente proyecto se utilizó como instrumento de evaluación la matriz Impacto-Esfuerzo.

Para la evaluación de impacto se tomaron en cuenta las siguientes medidas:

- Deseabilidad del cliente
- Sostenibilidad
- Eficacia

Mientras que para el esfuerzo se contempló lo siguiente

- Costo
- Tiempo de Implementación
- Complejidad de Ejecución

A continuación, se muestra en la figura 2.25 la matriz Impacto-Esfuerzo obtenida:

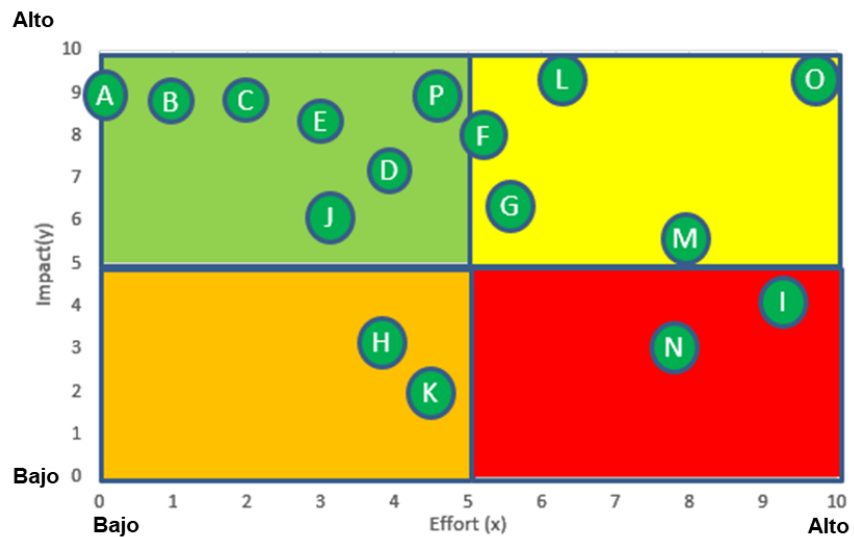


Figura 2.25 Matriz Impacto-esfuerzo

A continuación, se muestra en la tabla 2.11 las soluciones y componentes a implementarse en el diseño del prototipo son las siguientes:

Tabla 2.11 Soluciones a Implementarse

| Soluciones a implementarse | No. | Soluciones a implementarse | No. |
|---|-----|--|-----|
| Tomar fotos a los granos de cacao con una cámara profesional. | A | Instalar el Sistema Operativo Debian (Linux) en el CPU industrial. | F |
| | | Instalar los drivers de las cámaras hiperespectrales | G |
| Construir una caja fotográfica para tomar fotos a los granos de cacao y adaptar a la cámara profesional. | B | Instalar una cámara monocromática con resolución de 12 bits y 1920x1200 píxeles | L |
| | | Instalar un tornillo sin fin de 300 mm de longitud con un motor que produce un par de torsión de 3,2 kg / cm | M |
| Crear un portal web donde todas las fotos de los granos de cacao serán subidas y varios expertos evaluarán la fermentación y tipo de cacao. | C | Instalar un espectrógrafo con ranura lineal de 0.05 x 9.8 mm | O |
| | | Instalar 2 lámparas halógenas de 550 lúmenes. | P |
| Programar un algoritmo que permita cortar los granos de cacao y poder identificarlas cada una. | D | | |
| Realizar un análisis R y R a los resultados de la simulación de la clasificación de fermentación con los expertos. | E | | |

Elaborado por: Nelson Arias

2.4.3 Plan de Implementación

A continuación, en las tablas 2.12, 2.13, 2.14 y 2.15 se detallan el plan de implementación de los componentes de diseño y soluciones:

Tabla 2.12 Plan de Implementación a Solución 1

| Que | Por qué | Cómo | Donde | Who | Cuanto Cuesta | Cuando | Estado |
|--|--|--|---|-----------------------------|---------------|------------|----------|
| Tomar fotos a los granos de cacao con una cámara profesional. (A) | Es necesario porque los expertos observarán los granos de cacao cortados y se tienen que ver lo mas nítido y claro posible. | Con la ayuda de un estudiante de Edcom de la carrera de Diseño Gráfico. | Laboratorio CVR Fiec-Espol | Ronald Oswaldo Nelson Julio | \$125 | 05/01/2019 | Completo |
| Construir una caja fotográfica con iluminación led (B) | Es necesario, ya que el grano de cacao debe recibir la mayor cantidad de luz posible para obtener una fotografía excelente. | Se construyó una caja de madera, se compró una lámpara led y se modificó la caja con la lámpara para que la lente pudiera caber. | Laboratorio Mecanizado Teconologías Espol | Belén Nelson | \$20 | 21/12/2018 | Complete |
| Crear un portal web donde todas las fotos de los granos de cacao serán subidas y varios expertos evaluarán la fermentación y tipo de cacao. (C) | Se simulará el proceso de calificación de la fermentación y estos resultados servirán para entrenar el algoritmo de reconocimiento | Con la ayuda de estudiantes de Ingeniería en Ciencias Computacionales y el lenguaje de programación Python. | Laboratorio CVR Fiec-Espol | Guido Julio | \$0 | 28/12/2018 | Complete |

Elaborado por: Nelson Arias

Tabla 2.13 Plan de Implementación a Solución 2 y 3

| QUE | POR QUE | COMO | DONDE | QUIEN | CUANTO CUESTA | CUANDO | ESTADO |
|---|---|--|-------|-------------|---------------|------------|----------|
| Programar un algoritmo que permita cortar los granos de cacao y poder identificarlas cada una. (D) | Se evita tomar la foto a cada grano de forma individual y de esta manera se ahorra tiempo y dinero | Con un código de programación de Python que le permite identificar cada pepa de cacao y cortar la foto en dimensiones estandarizadas | Espol | Oswaldo | \$0 | 29/12/2018 | Completo |
| Hacer un análisis de R y R de los resultados del experimento simulado con los expertos (E) | Para evaluar a los expertos si son consistentes en calificar la fermentación, si la variación entre los expertos es consistente o no, distinga los resultados de diferentes expertos. | Con los resultados finales de la simulación se procederá a realizar un análisis R y R. | Espol | Nelson | \$0 | 14/01/2019 | Completo |
| Instalar el sistema operativo Debian (Linux) en la CPU industrial (F) | Porque es un software gratuito y el procesador de CPU ARM funciona mucho mejor con Debian Linux que con Windows | El sistema operativo se descarga en un disco duro o en una tarjeta y se transmite directamente a través de USB | Espol | Julio Guido | \$0 | 3/01/2019 | Completo |

Elaborado por: Nelson Arias

Tabla 2.14 Plan de Implementación a Solución 2 y 3

| QUE | POR QUE | COMO | DONDE | QUIEN | CUANTO CUESTA | DONDE | ESTADO |
|--|---|--|-------|-------------|---------------|-----------|----------|
| Instalar los drivers de la cámara hiperspectral. (G) | Necesita estar conectado a la CPU para que pueda recibir información. | Descarga el código y adaptar a la cámara según la serie.. | Espol | Julio Guido | \$0 | 7/01/2019 | Complete |
| Ejecutar el algoritmo de reconocimiento dentro de DEBIAN que soporta las cámaras y la interfaz de usuario del sistema(J) | Las cámaras no pueden recibir y enviar información | Descarga el código y adaptar a la cámara según la serie . | Espol | Julio Guido | \$0 | 7/01/2019 | Complete |
| Instalar una cámara monocromática con resolución de 12 bits y 1920x1200 píxeles(L) | Necesita al menos 12 bits de resolución para poder tener suficiente información sobre la pepa de cacao. | Espol y una Fundación Bélgica proporcionaron un presupuesto para comprar este componente.. | Espol | Julio | \$549 | 6/12/2018 | Complete |

Elaborado por: Nelson Arias

Tabla 2.15 Plan de Implementación a Solución 2 y 3.

| QUE | POR QUE | COMO | DONDE | QUIEN | QUE TANTO | CUANDO | ESTADO |
|---|---|--|-------|-----------------|-----------|------------|----------|
| Instalar un tornillo sin fin de 300 mm de longitud con un motor que produce un par de torsión de 3,2 kg / cm (M) | Esto permite mover la cámara en una sola dirección a una velocidad programada. | Se calcularon las medidas y se mandó a construir con un Equipo mecánico | Espol | Belen Sthephany | \$450 | 26/09/2018 | Completo |
| Colocar un espectrógrafo con ranura lineal de 0.05 x 9.8 mm (O) | Permite medir el espectro electromagnético de una región lineal de la superficie de un objeto | Espol y una Fundación Bélgica proporcionaron un presupuesto para comprar este componente | Espol | Oswaldo | \$7800 | 26/09/2018 | Completo |
| Compre 2 lámparas halógenas de 550 lúmenes cada una. | Se necesita Luz amarilla y clara para realizar el escaneo de manchas y espectros que tenga el grano de cacao. | Espol y una Fundación Bélgica proporcionaron un presupuesto para comprar este componente.. | Espol | Oswaldo | \$26 | 26/09/2018 | Completo |

Elaborado por: Nelson Arias

2.4.4 Implementación de Soluciones

Las implementaciones de los componentes de diseño se detallan a continuación:



Figura 2.26 Tomar fotos a los granos de cacao con una cámara profesional.

Elaborado por: Nelson Arias

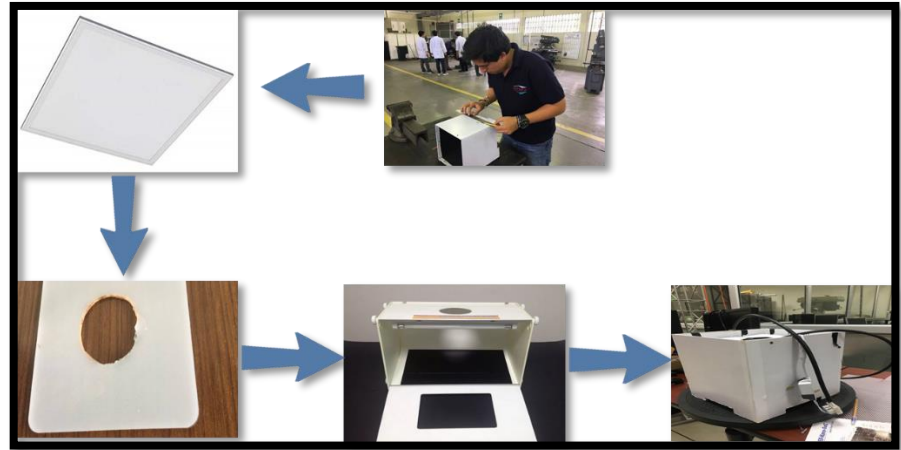


Figura 2.27 Construcción de una caja fotográfica con luz led
Elaborado por: Nelson Arias



Figura 2.28 Portal Web donde debe Ingresar su ID
Elaborado por: Julio Guilindro

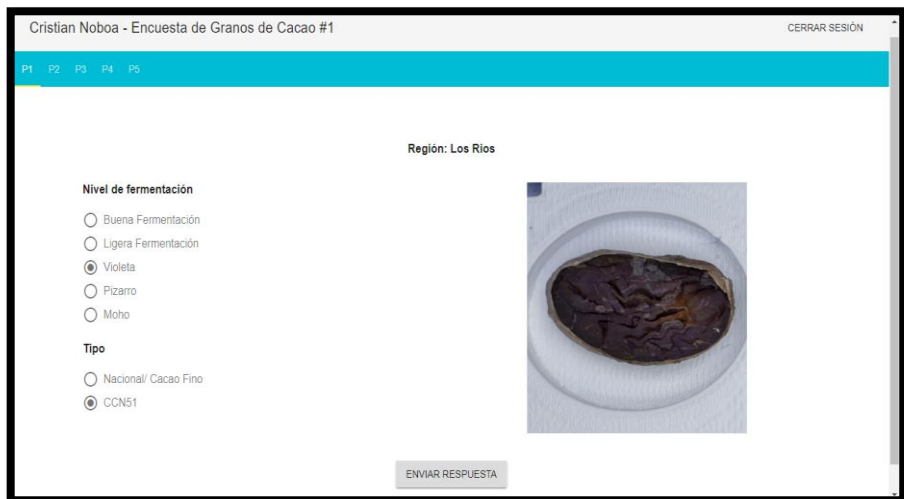


Figura 2.29 Portal web donde realizan clasificación de Fermentación

Elaborado por: Julio Guilindro

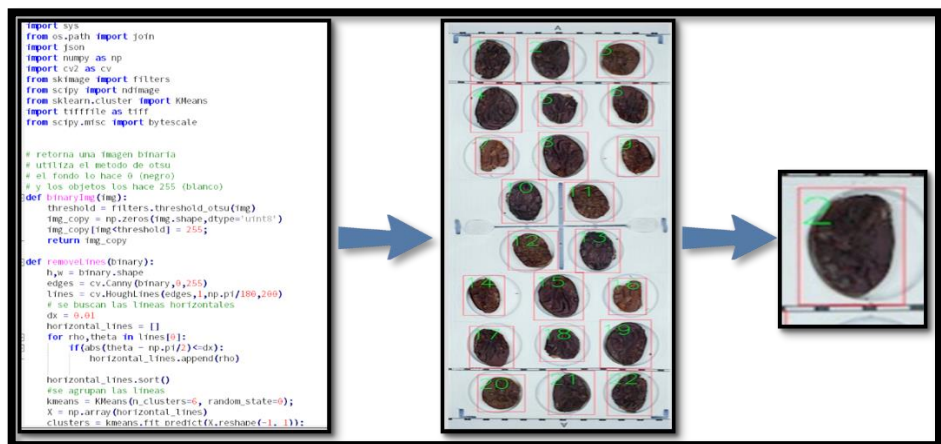


Figura 2.30 Algoritmo que permite cortar la fotografía de los granos de cacao de cada uno.

Elaborado por: Oswaldo Bayona

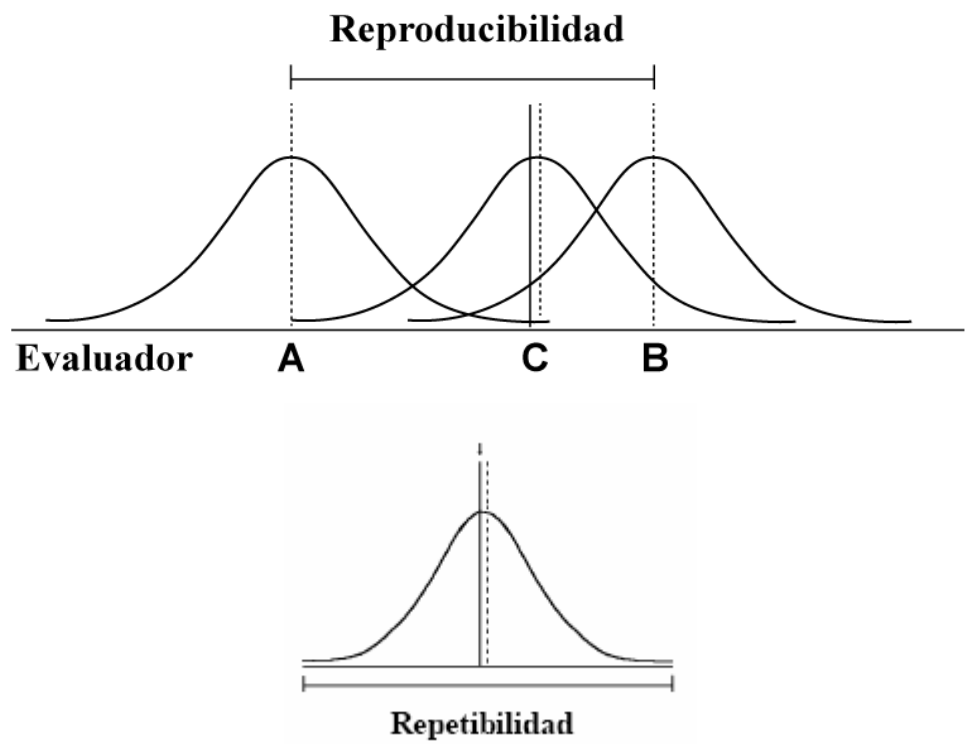


Figura 2.31 Análisis R&R de los datos obtenidos de la clasificación de fermentación.

Elaborado por: (Redalyc)

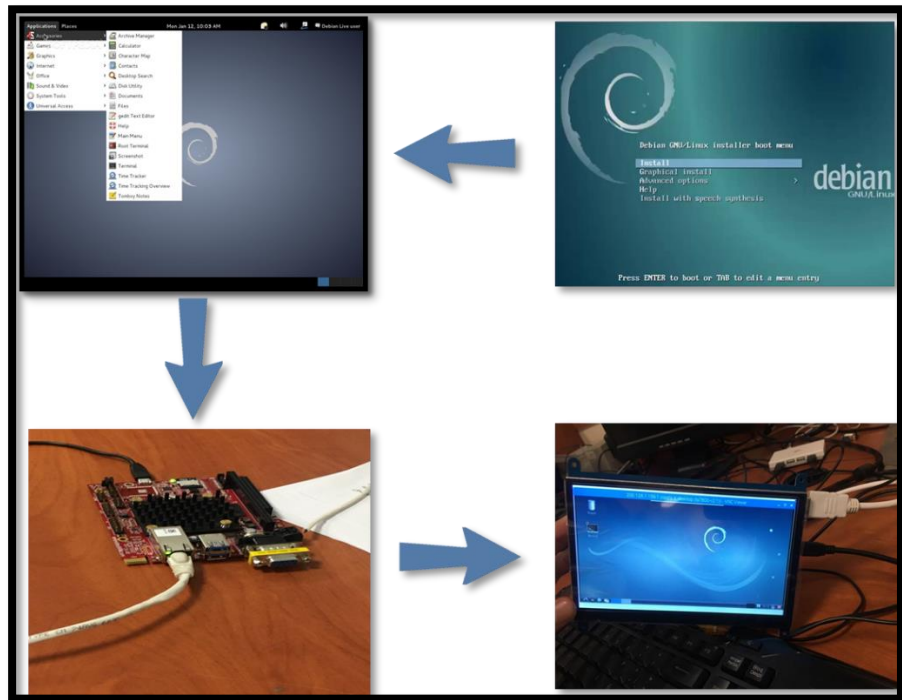


Figura 2.32 Instalación del sistema Operativo Debian (Linux) al CPU Industrial

Elaborado por: Elaborado por: Julio Guilindro, Guido Duchi

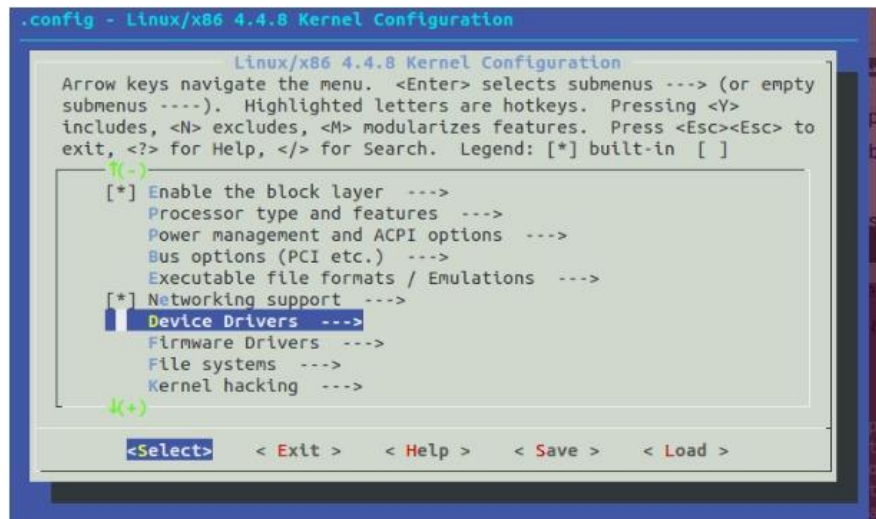


Figura 2.33 Instalación de los Drivers de la cámara Hiperespectrales
Elaborado por: Julio Guilindro, Guido Guchi

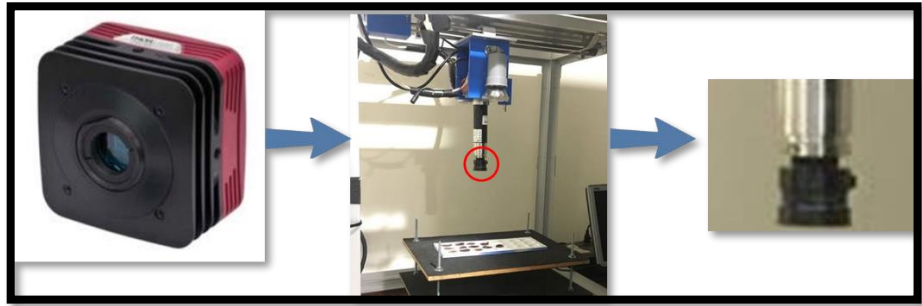


Figura 2.34 Instalación de Cámara Monocromática
Elaborado por: Oswaldo Bayona

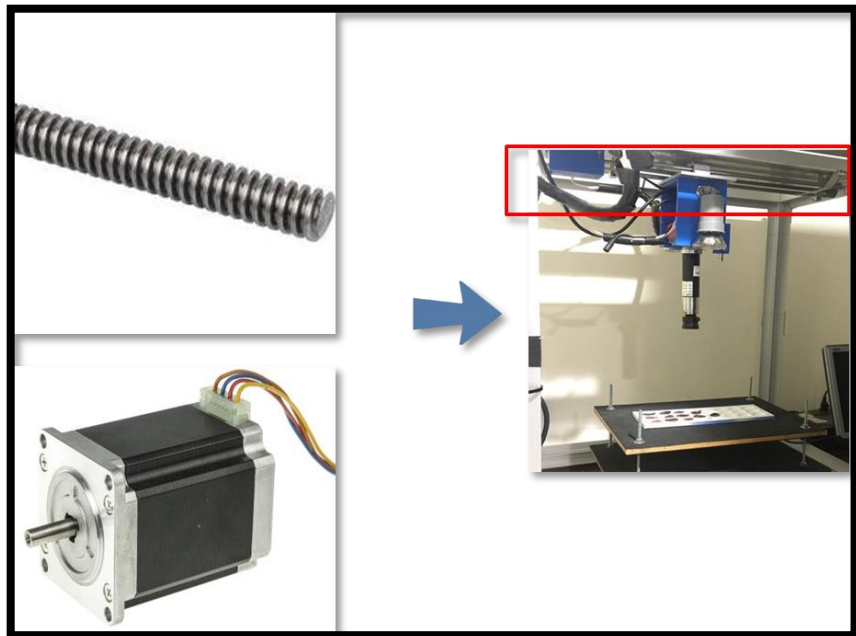


Figura 2.35 Instalación de Tornillo sin fin con motor de paso
Elaborado por: Oswaldo Bayona

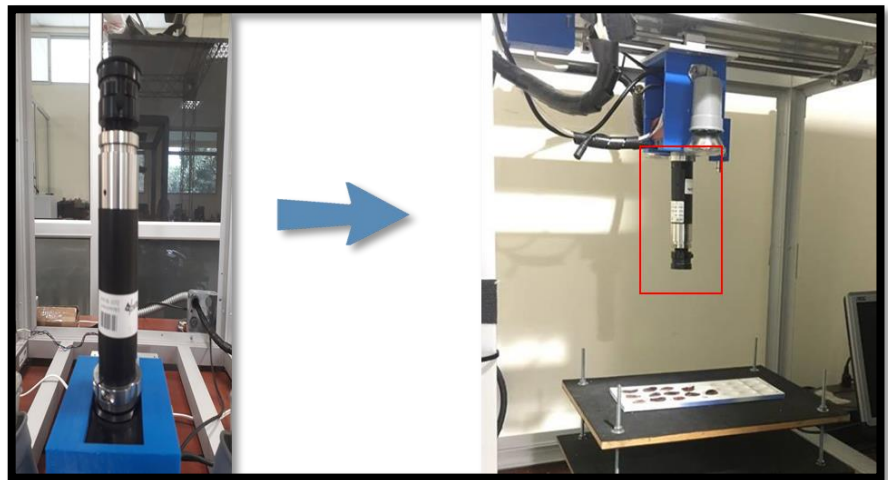


Figura 2.36 Instalación de Espectrógrafo
Elaborado por: Oswaldo Bayona

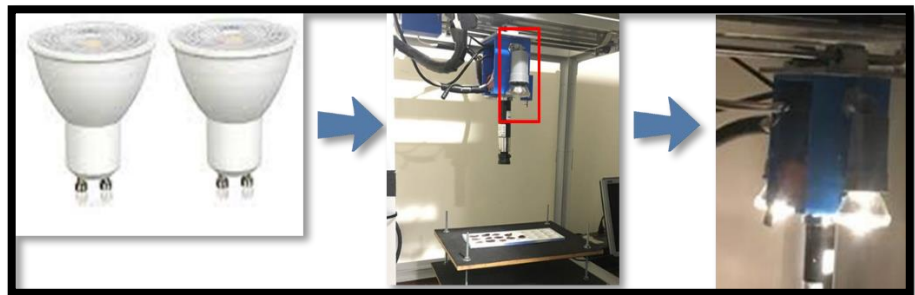


Figura 2.37 Instalación de Lámparas Halógenas
Elaborado por: Oswaldo Bayona

2.5 Etapa de Verificación y Control

Las Soluciones y componentes fueron implementadas acordes a los planes de acción descritos en las Tablas 2.12, 2.13, 2.14 y 2.15 de la sección 2.4.3 -Plan de Implementación. Para poder verificar los resultados finales, se extrajo los resultados de las calificaciones por parte de los expertos que calificaron a los granos de cacao fotografiados.

| NOMBRE EXPERTOS | EMPRESA |
|-----------------|-----------|
| Experto 1 | Empresa 1 |
| Experto 2 | Empresa 2 |
| Experto 3 | Empresa 3 |
| Experto 4 | Empresa 4 |
| Experto 5 | Empresa 5 |
| Experto 6 | Empresa 6 |
| Experto 7 | Empresa 7 |
| Experto 8 | Empresa 8 |
| Experto 9 | Empresa 9 |

Figura 2.38 Expertos que Contribuyeron con la Simulación de la Clasificación de Fermentación.

Elaborado por: Elaborado por: Nelson Arias

| survey | experto | pepa | fermentacion |
|----------------------------------|------------------------|------------|--------------|
| Encuesta sobre Granos de Cacao 1 | Econ. Larry Vera | _AuHnHK57w | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 1 | Econ. Larry Vera | _B4NP_oyUG | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Cristian Noboa | _Fiix87Kk- | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Wilson Salinas | _Fiix87Kk- | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. David Pastorelly | _Fiix87Kk- | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Franklin Borbor | _Fiix87Kk- | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 8 | Ing. Cristian Noboa | _Fiix87Kk- | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 8 | Ing. Franklin Borbor | _Fiix87Kk- | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 1 | Econ. Larry Vera | _LPtZRUY2H | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Cristian Noboa | _t6t8HPcE3 | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Wilson Salinas | _t6t8HPcE3 | moho |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. David Pastorelly | _t6t8HPcE3 | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Franklin Borbor | _t6t8HPcE3 | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 8 | Ing. Cristian Noboa | _t6t8HPcE3 | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Cristian Noboa | _Ut9Zb_8lF | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Wilson Salinas | _Ut9Zb_8lF | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. David Pastorelly | _Ut9Zb_8lF | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Franklin Borbor | _Ut9Zb_8lF | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 8 | Ing. Cristian Noboa | _Ut9Zb_8lF | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 8 | Ing. Franklin Borbor | _Ut9Zb_8lF | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 1 | Econ. Larry Vera | _WXa5jFqPt | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Cristian Noboa | _X6c4t_06R | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Wilson Salinas | _X6c4t_06R | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. David Pastorelly | _X6c4t_06R | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Franklin Borbor | _X6c4t_06R | moho |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 8 | Ing. Cristian Noboa | _X6c4t_06R | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 2 | Ing. Renato Proaño | 0_vMgPP9Df | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 2 | Erik Andrade | 0_vMgPP9Df | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 6 | Ing. Renato Proaño | 0_vMgPP9Df | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 1 | Econ. Larry Vera | 0LspC1glz7 | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Cristian Noboa | 0m-04RsVFc | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. Wilson Salinas | 0m-04RsVFc | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 4 | Ing. David Pastorelly | 0m-04RsVFc | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 8 | Ing. Cristian Noboa | 0m-04RsVFc | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 8 | Ing. Franklin Borbor | 0m-04RsVFc | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 2 | Ing. Renato Proaño | 00ukCVFAKa | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 2 | Ing. Alfredo Villavice | 00ukCVFAKa | ligera |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 2 | Erik Andrade | 00ukCVFAKa | buena |
| Encuesta sobre Granos de Cacao 6 | Ing. Renato Proaño | 00ukCVFAKa | ligera |

Figura 2.39 Data Extraída de la Página Web.

Elaborado por: Nelson Arias, Julio Guilindro

Como se puede ver en la figura 2.38 y 2.39, tenemos alrededor de 9 expertos que respondieron las encuestas, por lo que la Data Obtenida se

construyó con 9 expertos. Se puede evidenciar que los expertos asignaron un tipo de fermentación a cada grano, el grano está en la Columna “Pepa”, cada grano tiene un código por lo que permite identificar y poder clasificarlo fácilmente. Una vez extraída la Data, se la introduzco en el algoritmo de clasificación (figura 2.40) para el entrenamiento Del Prototipo, para que finalmente pueda realizar la clasificación de la fermentación de cacao.

```
import sys
from os.path import join
import json
import numpy as np
import cv2 as cv
from skimage import filters
from scipy import ndimage
from sklearn.cluster import KMeans
import tiffio as tiff
from scipy.misc import bytescale

# retorna una imagen binaria
# utiliza el metodo de otsu
# el fondo lo hace 0 (negro)
# y los objetos los hace 255 (blanco)
def binaryImg(img):
    threshold = filters.threshold_otsu(img)
    img_copy = np.zeros(img.shape, dtype='uint8')
    img_copy[img < threshold] = 255;
    return img_copy

def removeLines(binary):
    h,w = binary.shape
    edges = cv.Canny(binary,0,255)
    lines = cv.HoughLines(edges,1,np.pi/180,200)
    # se buscan las lineas horizontales
    dx = 0.01
    horizontal_lines = []
    for rho,theta in lines[0]:
        if(abs(theta - np.pi/2)<=dx):
            horizontal_lines.append(rho)

    horizontal_lines.sort()
    #se agrupan las lineas
    kmeans = KMeans(n_clusters=6, random_state=0);
    X = np.array(horizontal_lines)
    clusters = kmeans.fit_predict(X.reshape(-1, 1));
```

Figura 2.40 Algoritmo Básico de Clasificación

Elaborado por: Oswaldo Bayona

Dado que es un prototipo de diseño, todavía no se tienen resultados tan precisos ya que el algoritmo de clasificación no considera todas las variables y es muy básico su construcción. A continuación, se muestra en la tabla 2.16 un plan de control para el diseño del prototipo.

Tabla 2.16 Plan de Control para el Diseño del Prototipo

| Prototipo automático de la calidad del Cacao Usando Imágenes Hiperespectrales | | |
|---|---|---|
| ¿QUÉ? | Proceso de Entrenamiento del Algoritmo | Proceso de Adaptación y Calibración del Equipo |
| ¿POR QUÉ? | Sin un buen entrenamiento, no se podrá tener resultados óptimos | No podrá realizar el escaneo de los granos de Cacao |
| ¿CÓMO? | La Data Obtenida para el entrenamiento del algoritmo será creada y validada por varios expertos de Cacao y Control de Calidad | El equipo será modificado calibrado y validado por el equipo de diseño del proyecto |
| ¿DONDE? | ESPOL | ESPOL |
| ¿QUIÉN? | Equipo del Proyecto | Equipo del Proyecto |
| ¿CUÁNTO CUESTA? | \$0 | \$150 |

Elaborado por: Nelson Arias

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados Generales

Como resultado final del presente proyecto multidisciplinario, se tiene mejorar la exactitud en la clasificación de fermentación de granos de cacao mediante el diseño de un prototipo de adquisición de imágenes hiperespectrales con las propuestas implementadas en la sección anterior por el equipo de diseño del proyecto. A continuación, en la tabla 3.1 se muestra los resultados obtenidos por cada carrera.

Tabla 3.1 Resultados del Proyecto por cada Carrera

| Carrera | Resultados |
|--|--|
| Ingeniería Industrial | Obtención y creación de una data base para el entrenamiento del algoritmo de clasificación. Análisis R&R por atributos de los resultados de la clasificación de la fermentación por parte de los expertos. Determinar los requerimientos del cliente y transformarlos en factores de diseño para el prototipo. Eliminación de la subjetividad al momento de clasificar la fermentación de cacao. Diseñar e implementar ensayos para la clasificación de la fermentación del grano de cacao |
| Ingeniería en Ciencias Computacionales | Obtención y creación de una data base para el entrenamiento del algoritmo de clasificación creación del prototipo de escaneo de granos de cacao mediante imágenes hiperespectrales |
| Ingeniería en Negocios Internacionales | Análisis financiero de la comercialización del prototipo de diseño |

Elaborado por: Nelson Arias

A continuación, en las figuras 3.1 y 3.2, se muestra el resultado obtenido por el prototipo de diseño:

| Tipo de Cacao | Precision | recall | f1-score | support |
|---------------|-----------|--------|----------|---------|
| CCN51 | 0.8 | 0.46 | 0.59 | 26 |
| FINO/NACIONAL | 0.5 | 0.82 | 0.62 | 17 |
| Promedio | 0.65 | 0.64 | 0.61 | 43.00 |

| Tipo de Fermentación | Precision | recall | f1-score | support |
|----------------------|-----------|--------|----------|---------|
| Buena | 0.59 | 0.76 | 0.67 | 21 |
| Ligera | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 25 |
| Violeta | 0.71 | 0.38 | 0.5 | 13 |
| Promedio | 0.61 | 0.55 | 0.56 | 59.00 |

Figura 3.1 Resultado del Prototipo de Diseño

Elaborado por: Oswaldo Bayona

Precisión de los datos

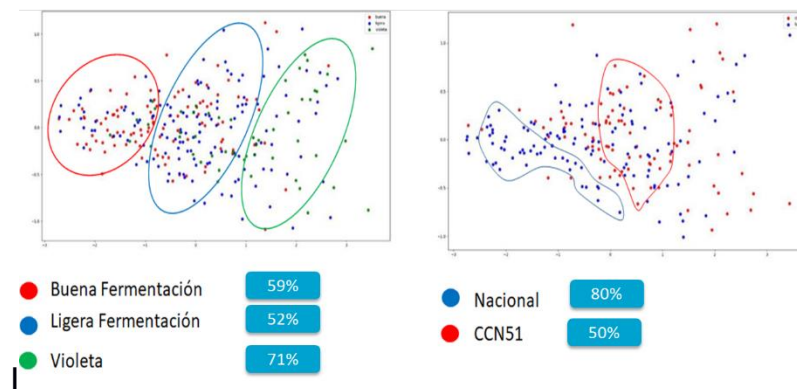


Figura 3.2 Clúster por Tipo de Fermentación y tipo de Cacao.

Elaborado por: Oswaldo Bayona

Como se puede ver en la figura 3.1 y 3.2 se obtuvo la exactitud por las categorías de Buena Fermentación, Ligera Fermentación y Violeta con una exactitud de 61% en promedio, además se pudo diferenciar el tipo de cacao con una exactitud de 65% en promedio. No se pudo llegar al objetivo deseado ya que esto requiere un mayor tiempo de entrenamiento al

algoritmo de clasificación, por lo que esa tarea estaría fuera del alcance del proyecto.

3.2 Resultados Específicos

A partir de los Resultados obtenidos de la data base creada por los Expertos se obtuvo lo siguiente:

3.2.1 Análisis R&R por Atributos

A continuación, se muestra los resultados obtenidos de 2 grupos seleccionados con la ayuda del programa Minitab.

Tabla 3.2 Tabla de Concordancia, fuente (Hospital Universitario Ramón y Cajal)

| kappa | grado de acuerdo |
|--------------|-------------------------|
| < 0,00 | sin acuerdo |
| >0,00 - 0,20 | insignificante |
| 0,21 - 0,40 | discreto |
| >0,41 - 0,60 | moderado |
| 0,61 - 0,80 | sustancial |
| 0,81 - 1,00 | casi perfecto |

Análisis de reproducibilidad del Grupo 1

se realizó un análisis de concordancia de atributos (figura 3.4) entre un parámetro contra todos los expertos. Para esto se eligió a un experto como referencia considerando las siguientes cualidades:

- Tiene suficiente experiencia con el cacao
- Conocimientos acerca de la fermentación del cacao
- Aporte al desarrollo científico del cacao



Figura 3.3 Experto tomado como Estándar en el análisis del Grupo #1
Elaborado por: (El Cacaotero, 2013)

Análisis de concordancia de atributos para Experto 1, Experto 2, Experto 3

Cada evaluador vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

| Evaluador | No. de inspeccionados | No. de coincidencias | Porcentaje | IC de 95% |
|-----------|-----------------------|----------------------|------------|----------------|
| Experto 1 | 50 | 12 | 24.00 | (13.06, 38.17) |
| Experto 2 | 50 | 17 | 34.00 | (21.21, 48.77) |
| Experto 3 | 50 | 13 | 26.00 | (14.63, 40.34) |

No. de coincidencias: La estimación del evaluador en los diferentes ensayos coincide con el estándar conocido.

Figura 3.4 Análisis R&R por Atributos entre el Estándar y cada Evaluador
Elaborado por: Nelson Arias

Estadísticos Kappa de Fleiss

| Evaluador | Respuesta | Kappa | Error estándar de Kappa | Z | P(vs > 0) |
|-----------|-----------|-----------|-------------------------|----------|-----------|
| Experto 1 | buena | -0.333333 | 0.141421 | -2.35702 | 0.9908 |
| | ligera | -0.250000 | 0.141421 | -1.76777 | 0.9615 |
| | moho | -0.030928 | 0.141421 | -0.21869 | 0.5866 |
| | pizarro | -0.086957 | 0.141421 | -0.61488 | 0.7307 |
| | violeta | 0.003322 | 0.141421 | 0.02349 | 0.4906 |
| | General | -0.205201 | 0.087014 | -2.35827 | 0.9908 |
| Experto 2 | buena | 0.067599 | 0.141421 | 0.47800 | 0.3163 |
| | ligera | 0.025974 | 0.141421 | 0.18366 | 0.4271 |
| | moho | -0.041667 | 0.141421 | -0.29463 | 0.6159 |
| | pizarro | 0.080695 | 0.141421 | 0.57060 | 0.2841 |
| | violeta | 0.155296 | 0.141421 | 1.09811 | 0.1361 |
| | General | 0.068060 | 0.082038 | 0.82962 | 0.2034 |
| Experto 3 | buena | -0.160464 | 0.141421 | -1.13465 | 0.8717 |
| | ligera | -0.125000 | 0.141421 | -0.88388 | 0.8116 |
| | moho | -0.063830 | 0.141421 | -0.45134 | 0.6741 |
| | pizarro | 0.080695 | 0.141421 | 0.57060 | 0.2841 |
| | violeta | -0.136364 | 0.141421 | -0.96424 | 0.8325 |
| | General | -0.104807 | 0.082149 | -1.27582 | 0.8990 |

Figura 3.5 Valores de Kappa de Fleiss entre el parámetro vs los Expertos del Grupo 1
Elaborado por: Nelson Arias

Como se puede ver en la figura 3.5 se muestra el número de coincidencias de los expertos con el estándar. el valor de Kappa del experto 1 es de -0.20, 0.06 y -0.10 por lo que se puede inferir que los expertos no llegan a un acuerdo.

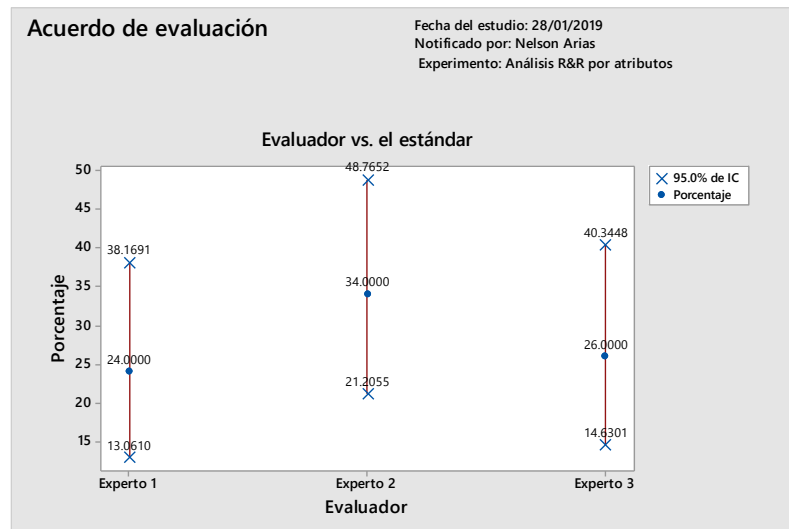


Figura 3.6 Porcentaje de Concordancia entre los Expertos vs Estándar
Elaborado por: Nelson Arias

En la figura 3.6 se muestra el porcentaje de concordancia entre los expertos y el estándar. El experto 1 coincidió con un 24% y el segundo experto fue de 26%. Se puede evidenciar que los criterios de cada experto son subjetivos.

Análisis de reproducibilidad del Grupo 2

Así mismo se realizó un análisis de concordancia de atributos entre un parámetro contra todos los expertos. Se consideraron las mismas cualidades mencionadas en el análisis anterior para el estándar.



Figura 3.7 Experto tomado como Estándar en el análisis del Grupo #2

Elaborado por: Nelson Arias

Análisis de concordancia de atributos para Experto 5, Experto 6

Cada evaluador vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

| Evaluador | No. de inspeccionados | No. de coincidencias | Porcentaje | IC de 95% |
|-----------|-----------------------|----------------------|------------|----------------|
| Experto5 | 100 | 42 | 42.00 | (32.20, 52.29) |
| Experto6 | 100 | 42 | 42.00 | (32.20, 52.29) |

No. de coincidencias: La estimación del evaluador en los diferentes ensayos coincide con el estándar conocido.

Figura 3.8 Análisis R&R por Atributos entre el Estándar y cada Evaluador

Elaborado por: Nelson Arias

Estadísticos Kappa de Fleiss

| Evaluador | Respuesta | Kappa | Error estándar de Kappa | Z | P(vs > 0) |
|-----------|-----------|-----------|-------------------------|----------|-----------|
| Experto5 | buena | 0.303598 | 0.100000 | 3.03598 | 0.0012 |
| | ligera | 0.000000 | 0.100000 | 0.00000 | 0.5000 |
| | moho | 0.794872 | 0.100000 | 7.94872 | 0.0000 |
| | pizarro | 0.360000 | 0.100000 | 3.60000 | 0.0002 |
| | violeta | 0.232456 | 0.100000 | 2.32456 | 0.0100 |
| | General | 0.231839 | 0.056090 | 4.13335 | 0.0000 |
| Experto6 | buena | 0.306667 | 0.100000 | 3.06667 | 0.0011 |
| | ligera | -0.009165 | 0.100000 | -0.09165 | 0.5365 |
| | moho | 0.489796 | 0.100000 | 4.89796 | 0.0000 |
| | pizarro | 0.333333 | 0.100000 | 3.33333 | 0.0004 |
| | violeta | 0.200119 | 0.100000 | 2.00119 | 0.0227 |
| | General | 0.181542 | 0.059894 | 3.03109 | 0.0012 |

Figura 3.9 Valores de Kappa de Fleiss entre el Estándar vs los Expertos del Grupo 2

Elaborado por: Nelson Arias

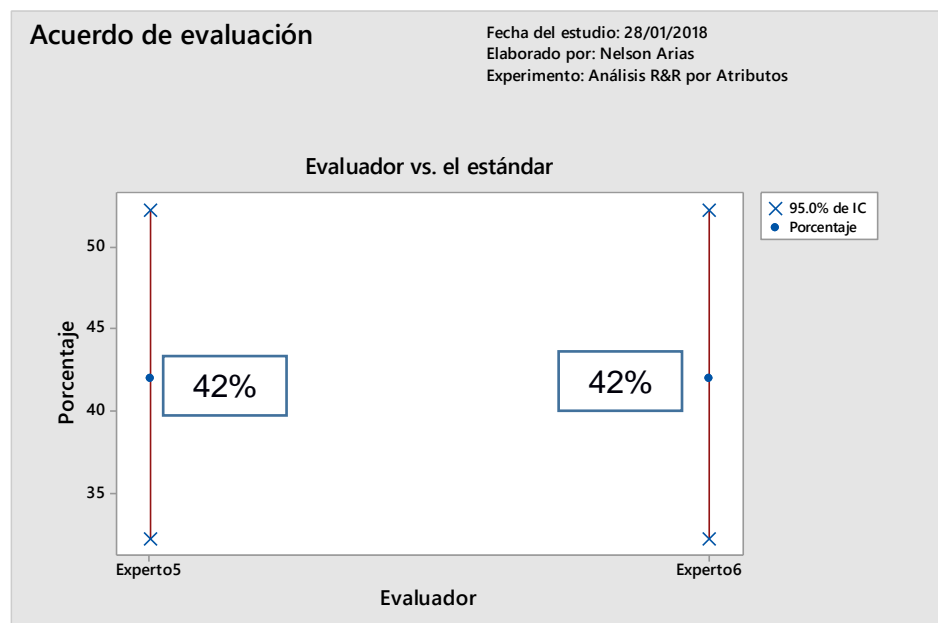


Figura 3.10 Porcentaje de Concordancia entre los Expertos vs Estándar
Elaborado por: Nelson Arias

En la figura 3.10 se muestra el porcentaje de concordancia entre los expertos y el estándar. El experto 1 coincidió con un 42% y el segundo experto fue de 42%. Se puede evidenciar que los criterios de cada experto son subjetivos.

Análisis de repetibilidad y reproducibilidad del grupo 3

Para este análisis (figura 3.11) se utilizaron 2 expertos que repitieron las encuestas, en este análisis se obtuvo lo siguiente:

Análisis de concordancia de atributos para Cristian nob, cristian nob, franklin bor, ...

Individual por evaluador

Acuerdo de evaluación

| Evaluador | No. de inspeccionados | No. de coincidencias | Porcentaje | IC de 95% |
|-----------|-----------------------|----------------------|------------|----------------|
| CRISTIAN | 50 | 39 | 78.00 | (64.04, 88.47) |
| FRANKLIN | 50 | 29 | 58.00 | (43.21, 71.81) |

No. de coincidencias: El evaluador coincide consigo a través de las pruebas.

Figura 3.11 Análisis R&R por Atributos entre el Estándar y cada Evaluador 2 veces

Elaborado por: Nelson Arias

Estadísticos Kappa de Fleiss

| Evaluador | Respuesta | Kappa | Error estándar de Kappa | Z | P(vs > 0) |
|-----------|-----------|----------|-------------------------|----------|-----------|
| CRISTIAN | buena | 0.45175 | 0.141421 | 3.19439 | 0.0007 |
| | ligera | 0.20424 | 0.141421 | 1.44422 | 0.0743 |
| | moho | 1.00000 | 0.141421 | 7.07107 | 0.0000 |
| | pizarro | * | * | * | * |
| | violeta | 0.53917 | 0.141421 | 3.81251 | 0.0001 |
| FRANKLIN | General | 0.44862 | 0.099648 | 4.50207 | 0.0000 |
| | buena | 0.18490 | 0.141421 | 1.30743 | 0.0955 |
| | ligera | 0.38950 | 0.141421 | 2.75418 | 0.0029 |
| | moho | 0.23246 | 0.141421 | 1.64371 | 0.0501 |
| | pizarro | -0.03093 | 0.141421 | -0.21869 | 0.5866 |
| | violeta | -0.01010 | 0.141421 | -0.07142 | 0.5285 |
| | General | 0.21700 | 0.101862 | 2.13036 | 0.0166 |

* No se puede calcular kappa cuando ninguna o todas las respuestas a través de ensayos igualan el valor.

Figura 3.12 Valores de Kappa de Fleiss entre el Estándar vs los Expertos 2 veces del Grupo 1

Elaborado por: Nelson Arias

En la figura 3.12 se muestra el valor de kappa tanto para El experto 1 y el experto 2, el experto uno tuvo un valor de 0.44, por lo que el experto 1 tiene una concordancia moderada con respecto a el mismo. Para el experto 2 es el valor de kappa es de 0.21 por lo que el nivel de concordancia con respecto a el mismo es discreto. Aquí

se puede evidenciar que la calificación del experto analizando el mismo grano de cacao 2 veces difiere en su respuesta

Cada evaluador vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

| Evaluador | No. de inspeccionados | No. de coincidencias | Porcentaje | IC de 95% |
|-----------|-----------------------|----------------------|------------|---------------|
| CRISTIAN | 50 | 9 | 18.00 | (8.58, 31.44) |
| FRANKLIN | 50 | 8 | 16.00 | (7.17, 29.11) |

No. de coincidencias: La estimación del evaluador en los diferentes ensayos coincide con el estándar conocido.

Figura 3.13 Análisis R&R por Atributos entre cada Evaluador y el Estándar

Elaborado por: Nelson Arias

Estadísticos Kappa de Fleiss

| Evaluador | Respuesta | Kappa | Error estándar de Kappa | Z | P(vs > 0) |
|-----------|-----------|-----------|-------------------------|----------|-----------|
| CRISTIAN | buena | -0.252525 | 0.100000 | -2.52525 | 0.9942 |
| | ligera | -0.157725 | 0.100000 | -1.57725 | 0.9426 |
| | moho | -0.030928 | 0.100000 | -0.30928 | 0.6214 |
| | pizarro | -0.086957 | 0.100000 | -0.86957 | 0.8077 |
| | violeta | 0.040995 | 0.100000 | 0.40995 | 0.3409 |
| General | -0.140079 | 0.061251 | -2.28698 | 0.9889 | |
| FRANKLIN | buena | -0.057663 | 0.100000 | -0.57663 | 0.7179 |
| | ligera | -0.155385 | 0.100000 | -1.55385 | 0.9399 |
| | moho | -0.156915 | 0.100000 | -1.56915 | 0.9417 |
| | pizarro | -0.003131 | 0.100000 | -0.03131 | 0.5125 |
| | violeta | -0.054477 | 0.100000 | -0.54477 | 0.7070 |
| General | -0.096026 | 0.056182 | -1.70919 | 0.9563 | |

Figura 3.14 Valores de Kappa de Fleiss entre el Estándar vs los Expertos 2 veces del Grupo 1

Elaborado por: Nelson Arias

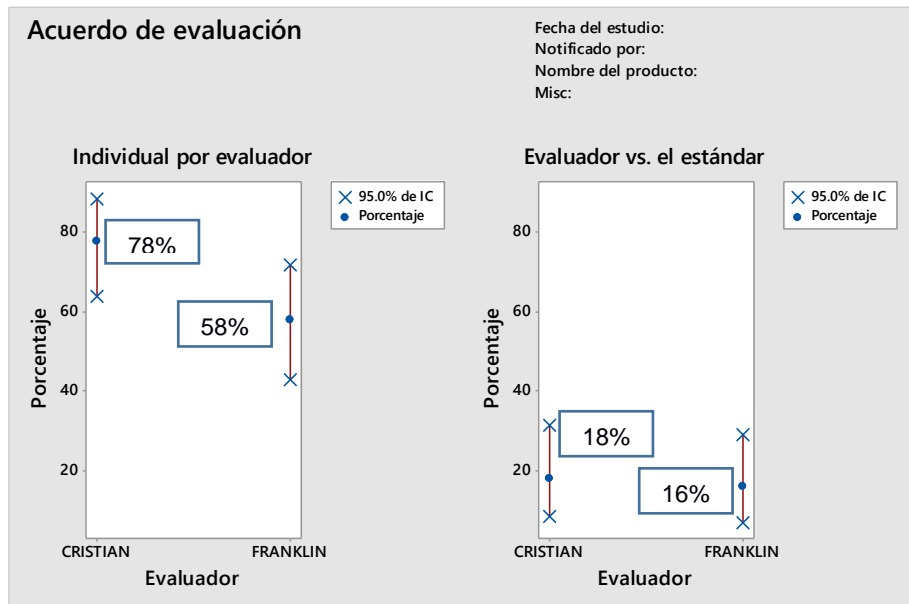


Figura 3.15 Análisis R&R del Experto 1, 2 y Estándar
 Elaborado por: Nelson Arias

En la figura 3.16 se muestra el porcentaje de concordancia de cada evaluador. El experto 1 tuvo un 78% de asertividad con respecto a el mismo, el experto 2 tuvo un 58% de asertividad con respecto a el mismo. Así mismo se muestra el nivel de concordancia de las 2 respuestas del experto 1 que es de 18% y el experto 2 es de 16% vs el experto estándar. A continuación se muestra los resultados finales del análisis R&R en la figura 3.16

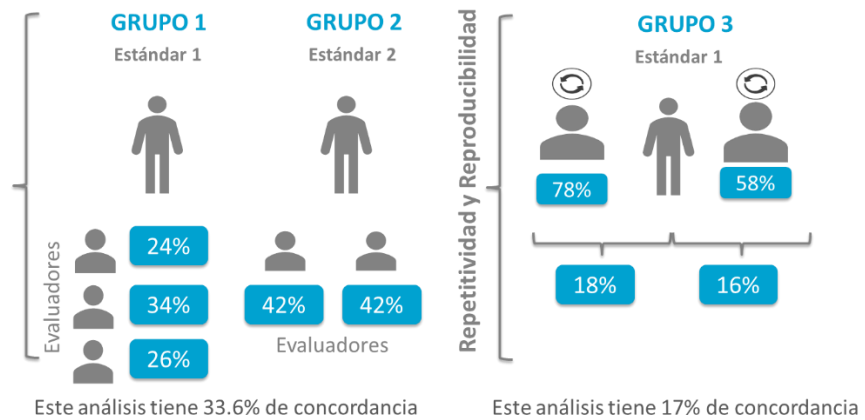


Figura 3.16 Resultados finales del análisis de R&R

Elaborado por: Nelson Arias

3.2.2 Parámetro Análisis de Factibilidad Económica

El análisis de factibilidad económica está enfocado principalmente en cuanto tiempo el exportador recuperará la inversión al momento de adquirir este nuevo sistema de clasificación de fermentación de cacao. A continuación, se detallan los costos de diseño e implementación del equipo en la tabla 3.3

Tabla 3.3 Costo Total de Fabricación del Equipo

| Costo de Construcción de Equipo | | | |
|--|-----------------|------------------------|---------------------|
| Materiales | Cantidad | Precio Unitario | Total |
| Sistema Óptico | | | |
| Cámara industrial | 1 | 200 | \$ 200.00 |
| Superficie de calibración | 0.5 | 100 | \$ 50.00 |
| Lente del espectrografo | 1 | 300 | \$ 300.00 |
| Espectrografo | 1 | 10000 | \$ 10,000.00 |
| Luces Halógenas | 2 | 13 | \$ 26.00 |
| Cámara Thor monocromática | 1 | 549 | \$ 549.00 |
| Total Sistema Óptico | | | \$ 11,162.00 |
| Sistema Mecánico | | | |
| Motores de paso | 1 | 1 | \$ 30.00 |
| Componentes electrónicos | Varías | | \$ 150.00 |
| Computadora | 1 | | \$ 200.00 |
| Componentes de Hierro | Varios | | \$ 300.00 |
| Tornillo sin fin | 1 | 1 | \$ 50.00 |
| Superficie que se desplaza | 1 | | \$ 500.00 |
| Estructura de Aluminio | 1 | | \$ 100.00 |
| Variador de Frecuencia | 1 | | \$ 200.00 |
| Cable Eléctrico | 2 | 2M | \$ 60.00 |
| Rollos de plástico | 0.2 | | \$ 20.00 |
| Total Sistema Mecánico | | | \$ 1,500.00 |
| Costo Total del Equipo | | | \$ 12,662.00 |

Elaborado por: Valeria García, Jenny Estrada

Al existir una diferencia de 3.18 granos de cacao entre la exportadora y Agrocalidad, revisando la serie de tiempo mencionado en el capítulo 1, el 6% de la exportación total anual de la exportadora podría tener problemas en el peor de los casos con el análisis final de la calificación de fermentación, por lo que el Lote a exportar podría pasar de una categoría a otra. A Continuación, en la tabla 3.4 se muestra los Ingresos y Egresos que tendría al momento de adquirir el nuevo sistema de clasificación:

Tabla 3.4 Cálculo de Costo de Oportunidad

| Costo de Oportunidad-ingresos | | |
|----------------------------------|-------------|---------------|
| Exportacion al Año | 600 | Toneladas/año |
| % de error por mala calificacion | 6% | |
| Toneladas por mala califiacion | 36 | Toneladas/año |
| Total en Sacos | 794 | Sacos/año |
| Total Costo de Oportunidad | \$ 2,325.40 | dolares/año |

Elaborado por: Nelson Arias

| Calidad del cacao | Semana |
|----------------------------|---------------|
| | 17-23-01-2019 |
| Cacao CCN51 | \$ 97,45 |
| Cacao ASE | \$ 97,45 |
| Cacao ASS | \$ 100,38 |
| Cacao ASSS | \$ 102,33 |
| Cacao ASSPS | \$ 107,20 |
| Manteca | \$ 262,15 |
| Manteca residual, expeller | \$ 196,61 |
| Licor o pasta | \$ 151,05 |
| Chocolate no edulcorado | \$ 151,05 |
| Torta | \$ 10,04 |
| Torta residual, expeller | \$ 1,00 |
| Polvo | \$ 10,91 |

Figura 3.17 Precios de tipo de Cacao para Exportación

Elaborado por: Anecacao

Una vez determinado cuantas toneladas al año podría perder, se calcula el número de sacos por toneladas, para esto se utilizó la tabla precios por saco de Anecacao, teniendo en cuenta que, al momento de calificar la fermentación, el cacao ASS podría ser un ASE, por lo que se calcula el costo de Oportunidad de cuanto estaría perdiendo por una mala calificación que tendría ,se multiplica el número de sacos por los diferentes precios que una categoría podría tener. A continuación se muestra en la tabla 3.5 los ingresos Anuales.

Tabla 3.5 Ingresos Anuales

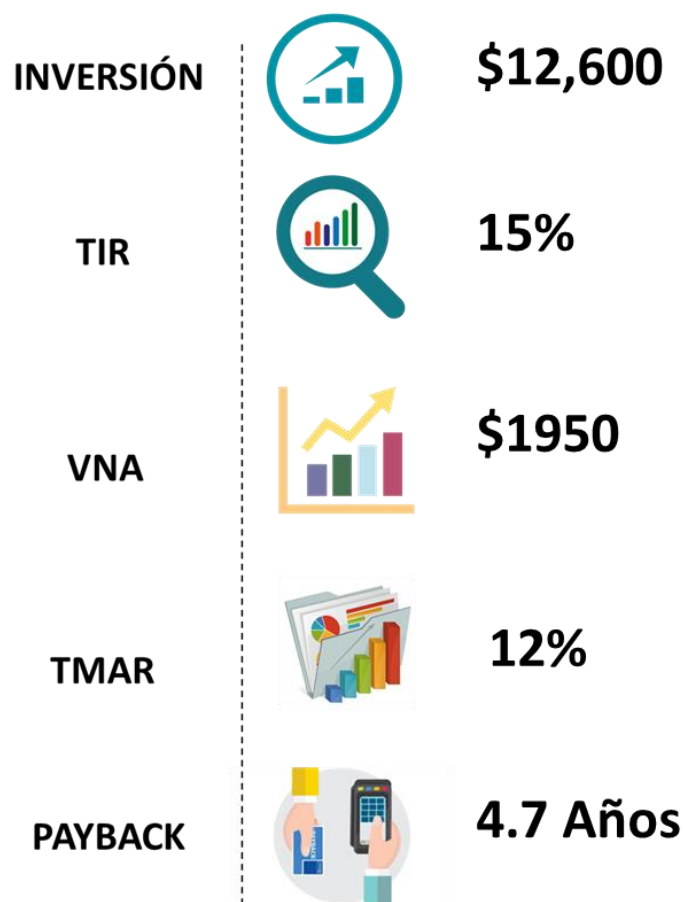
| Ingresos Anuales | |
|------------------|---|
| \$ 2,325.40 | Costo de Oportunidad |
| \$ 4,800.00 | Sueldo de la persona que califica la fermentación |
| \$ 7,125.40 | Total Ingresos Anuales |

Elaborado por: Nelson Arias

El valor de los \$4800 se estimó de acuerdo con las horas diarias que le dedica la persona de control de calidad y el Gerente de la Exportadora.

3.2.3 Resultados del Análisis de Factibilidad Económica

A continuación, en la figura 3.18 se muestran los resultados del Análisis de Factibilidad Económica del Proyecto.



Elaborado por: Nelson Arias

Figura 3.18 Resultado del Análisis de la Factibilidad Económica

Con respecto a los Resultados se obtiene que:

- Se obtuvo una VNA de 1949.47 dólares en un tiempo de 5 años,
- La Tasa Interna de Retorno, el cual es la tasa de Rendimiento real debe ser mayor que la Tasa Mínima Aceptable de Retorno para que el proyecto sea rentable.
- El Payback es de 4.7 años, es decir de 56 meses, esto se lo obtuvo mediante el método simple, lo que indica que a finales del 4 año el Exportador recupera la inversión

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinaron los requerimientos del cliente sobre el nuevo sistema de clasificación de fermentación de Cacao a través del VOC y estos fueron transformados en requerimientos de Diseño a través del QFD.
- Se determinaron los factores críticos de Diseño a través del QFD, AMEF y Matriz Impacto-Esfuerzo.
- Se eliminó la Subjetividad en la determinación de la fermentación de los granos de Cacao ya que el análisis final lo hizo el prototipo y no una persona.
- Se creó el prototipo de escaneo de granos de Cacao mediante imágenes hiperspectrales.
- Se logró realizar el análisis de fermentación de 3 categorías, Buena Fermentación, Ligera Fermentación y Violeta con una exactitud de 60% en promedio.
- Se logró diferenciar el Tipo de Cacao Nacional y CCN51 con una Exactitud de 65% en promedio.
- Se creó una Base de Datos con información sobre la fermentación de Granos de Cacao dada por expertos en Cacao.
- Se realizó un análisis de R&R por atributos a los Datos obtenidos a través de las Encuestas generadas por Los Expertos.
- Se realizó un análisis Financiero sobre la Factibilidad Económica del Proyecto para el Exportador que adquiera este nuevo sistema de calidad.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda dar una charla previa a las personas externas del proyecto para que se involucren más y den una mejor aportación.
- Se recomienda que los Expertos evalúen la fermentación del grano de Cacao de Forma presencial y Física ya que se puede tener una mejor opinión visualizando un grano real que visualizarlo en una foto.
- Se recomienda seguir en marcha el presente proyecto con el fin de obtener datos más precisos sobre la fermentación y diferenciación del grano de Cacao.

BIBLIOGRAFÍA

- Abaco Proyectores. (2019). *¿Qué son los lúmenes?* Obtenido de <https://abacoproectores.com/que-son-los-lumens-sec.html>
- Agrocalidad. (2011). *Registro Oficial de Agrocalidad*. Obtenido de <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dcf/cacao/>
- Aliceas Photo Gallery Inc -Salvador Alicea - Aprende Fotografía Digital. (30 de 01 de 2013). <http://www.aprendefotografiadigital.com>. Obtenido de <http://www.aprendefotografiadigital.com/afd/2013/01/30/profundidad-de-bits/#axzz5YkCscexy>
- ALMEIDA, S. d. (2018). *Diversidad de levaduras durante la fermentación de cacao de dos sitios en la Amazonia brasileña*. Manaus: Creative Commons.
- Blog Efecto Led. (2016). <https://www.efectoled.com/blog/lumen-y-lux-que-son/>. Obtenido de <https://www.efectoled.com/blog/lumen-y-lux-que-son/>
- Bottom classification algorithms. (5 de octubre de 2018). *echoview.com*. Obtenido de https://support.echoview.com/WebHelp/Reference/Algorithms/Bottom_classification/Bottom_classification_algorithms.htm
- CALVO, D. (2015). *DIEGO CALVO*. Obtenido de Red Neuronal Convolutacional CNN: <http://www.diegocalvo.es/red-neuronal-convolutacional/>
- Club del Chocolate. (2017). *Los Productores de cacao, los Consumidores de chocolate*. Obtenido de <https://www.clubdelchocolate.com/84-los-productores-de-cacao-los-consumidores-de-chocolate.html>
- Debian Org. (2017). *Guía de instalación de Debian GNU/Linux*. Obtenido de <https://www.debian.org/releases/stable/mips/ch01s03.html.es>
- El Cacaotero. (2013). *BIOQUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA DE LA FERMENTACIÓN DE CACAO*. Obtenido de http://www.elcacaotero.com.ec/bioquimica_y_microbiologia_fermentacion_cacao.html
- EI-Haik, K. Y. (2009). *DESIGN for SIX SIGMA*. McGraw-Hill Companies.
- ESPACIO PROFUNDO. (2018). *Astronomía - Espacio Profundo*. Obtenido de <https://www.espacioprofundo.com.ar/camaras/c%C3%B3mo-elegir-una->

c%C3%A1mara-para-astrofotograf%C3%ADa/introducci%C3%B3n/color-o-monocrom%C3%A1tica-r7/

Gómez, R. (2012). Seis sigma: un enfoque teórico y aplicado al ámbito empresarial basándose en información científica. 29.

Group Map. (2019). *Impact Effort Matrix*. Obtenido de <https://www.groupmap.com/map-templates/impact-effort-matrix/>

Ilutop. (2017). <https://www.ilutop.com/blog/que-son-los-lumenes-definicion/>. Obtenido de <https://www.ilutop.com/blog/que-son-los-lumenes-definicion/>

INEN. (2006). *Republic of Ecuador*. Obtenido de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2016/03/NTE.-INEN-0176.2006.pdf>

Latinoamericana, R. G. (2018). *¿Qué es un pixel?*

León-Roque N1, A. M.-A.-H. (12 de 2016). *www.adatum.com*. Obtenido de Prediction of fermentation index of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) based on color measurement and artificial neural networks.: <http://hinari.summon.serialssolutions.com/#!/search?bookMark=ePnHCXMwhV09T8QwDI0QilODv4A8wIC4JtcnmRgQJwYGBpijA4nHUVI57fz3KTHyBSpstvKdf3sNn6->

[FKeoW5M4Nss87JnLD2LM8tP2M2GmlCeog4xWjeo0vJOZEwe8d9vNaomiSI3VuVhJrnbVUI6In7eJf13w7dKYKSNw1e6cT5qZBfkogsjoyCeEebrl7n](http://hinari.summon.serialssolutions.com/#!/search?bookMark=ePnHCXMwhV09T8QwDI0QilODv4A8wIC4JtcnmRgQJwYGBpijA4nHUVI57fz3KTHyBSpstvKdf3sNn6-FKeoW5M4Nss87JnLD2LM8tP2M2GmlCeog4xWjeo0vJOZEwe8d9vNaomiSI3VuVhJrnbVUI6In7eJf13w7dKYKSNw1e6cT5qZBfkogsjoyCeEebrl7n)

Lutheran World Relief. (2016). *COSECHA, FERMENTACIÓN Y SECADO DEL CACAO*. Obtenido de <http://cacaomovil.com/guia/8/contenido/fermentacion/>

Maxey, M. L. (2005). *Lean Six Sigma Pocket*. McGRAW-HILL.

McCulloch, M. (Septiembre de 2018). *Health Line*. Obtenido de <https://www.healthline.com/nutrition/cacao-vs-cocoa#terminology>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Ministerio de Agricultura y Ganadería > Comunicamos > Noticias*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/produccion-de-cacao-apunta-a-romper-record-este-ano/>

Paulo José Pereira Lima Teixeira, a. D. (Noviembre de 2014). <http://www.plantcell.org>. Obtenido de High-Resolution Transcript Profiling of the Atypical Biotrophic: <http://www.plantcell.org/content/plantcell/26/11/4245.full.pdf>

- Pensamiento Creativo. (2014). *Técnica 5w1h*. Obtenido de <http://pensamientocreativo.org/tecnica-5w1h/>
- Proyectores, A. (2019). *¿Qué son los lúmenes?* Obtenido de <https://abacoproectores.com/que-son-los-lumens-sec.html>
- Redalyc. (s.f.). *Reproducibilidad*.
- Robles-Olvera, T. R.-C.-C.-A.-A.-J.-M. (2013). *Relationship between fermentation index and other biochemical changes evaluated during the fermentation of Mexican cocoa (Theobroma cacao) beans*. Mexico D.F: Journal of the Science of Food and Agriculture.
- Shippert, P. (Abril de 2004). *Why Use Hyperspectral Imagery?* Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/bc5a/6e243b6ffcd79e1892974f02699194b01426.pdf>
- Sistema Solar*. (2015). Obtenido de <https://www.espacioprofundo.com.ar/camaras/c%C3%B3mo-elegir-una-c%C3%A1mara-para-astrofotograf%C3%ADa/introducci%C3%B3n/color-o-monocrom%C3%A1tica-r7/>
- (s.f.). *Six Sigma*. leansixsigmadefinition.
- Soporte Minitab 18. (2017). *Exactitud y precisión de los sistemas de medición*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/basics/accuracy-and-precision/>
- SOPORTE MINITAB. (2017). *Realizar un estudio R&R del sistema de medición con múltiples operadores y una parte*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/perform-gage-r-r-with-multiple-operators-and-one-part/>
- Standardization, I. O. (2016). *Standards catalogue*. Obtenido de <https://www.iso.org/ics/67.140.30/x/>

APÉNDICES

Diagrama de Flujo de Proceso de Exportación de lote de Cacao

