

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Rediseño de las etapas de Secado y Limpieza del proceso de producción
de semilla de arroz para pequeños productores”

PROYECTO INTEGRADOR MULTIDISCIPLINARIO

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Luis Rafael Andrade Cedeño

Ramiro Israel Cedeño Barrionuevo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico...

A Dios, por permitirme llegar a este punto fundamental en mi vida y darme la oportunidad de servir a tan maravilloso grupo humano.

A mis amores, Gladys Mirella y Gladis Natalia, madre y hermana respectivamente, por su incondicional apoyo todos estos años, manteniendo la fe en mí.

Luis Rafael Andrade Cedeño.

DEDICATORIA

Con todo el cariño del mundo quiero dedicar este proyecto...

A Dios, por haberme brindado salud, sabiduría y fortaleza.

A mis padres, por su inmenso amor y comprensión.

A mis hermanitos por ser mi fuente de inspiración y motivación.

Ramiro Israel Cedeño Barrionuevo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, ya que he llegado con bien a esta fase de mi vida.

A mis padres y familiares por su aporte directo e indirecto para mi formación humana.

A mis profesores por su aporte a mi formación profesional, pero entre ellos, les agradezco de manera muy especial a María Isabel Jiménez por darme la oportunidad de participar en este hermoso proyecto, a María Isabel Alcívar por su constante apoyo y paciencia como tutora, y a Sofía López por su aporte en la formalización de este proyecto dentro de la facultad.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos por sus enseñanzas y buenos momentos en la universidad, y de manera muy especial a mi compañero de tesis Ramiro Cedeño Barrionuevo.

Luis Rafael Andrade Cedeño.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por bendecirme, cuidarme e iluminar mi camino.

A mis padres Anita y Ramiro, por sus sabios consejos, su enorme esfuerzo por apoyarme en mi educación y su amor incondicional.

A mis hermanitos Nachito, Dieguito y Ramirito, quienes con su sonrisa y abrazos me motivaron a mantenerme positivo y esforzarme por ser su ejemplo, los amo.

A mis queridos profesores de carrera, pero muy en especial a la miss Sofía López por sus sabios consejos y aporte en mi preparación, a la miss María Isabel Alcívar por su gran apoyo y dedicación por guiar esta tesis, así como también a la miss María Isabel Jiménez de quien nació la idea de elaborar el presente proyecto y haberme dado la oportunidad de participar en el mismo.

Finalmente, quiero agradecer a todos mis amigos por hacer de la Universidad un baúl lleno de anécdotas y de manera especial a mi gran amigo y compañero de tesis Luis Rafael Andrade Cedeño por el gran esfuerzo en equipo.

Ramiro Israel Cedeño Barrionuevo.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Luis Rafael Andrade Cedeño* y *Ramiro Israel Cedeño Barrionuevo* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Luis Rafael Andrade
Cedeño



Ramiro Israel Cedeño
Barrionuevo

EVALUADORES



M.Sc. Sofia López I.

PROFESOR DE LA MATERIA



M.Sc. Isabel Alcivar G.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el presente proyecto se expone un rediseño en las fases de Secado y Limpieza del proceso de producción de semilla de arroz para pequeños productores, bajo la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar mejora y Controlar), con el objetivo de incrementar el porcentaje de germinación del grano almacenado considerando las restricciones existentes de tiempo, recursos económicos y ausencia de registros históricos en el proceso. En la primera etapa se definieron los requerimientos de los pequeños productores mediante el uso de entrevistas con los pequeños productores, un VOC (Voice of Customer), y un CTQ (Critical to Quality). Posteriormente se delimitó el alcance del proyecto mediante un diagrama de SIPOC (Supplier, Input, Process, Output y Customer). Luego se cuantificó el rendimiento actual de la semilla almacenada y se diagramó el proceso pos-cosecha que se lleva a cabo. Después se identificaron las causas que ocasionaban el bajo rendimiento de la semilla almacenada, y para ello se ideó un modelo matemático para determinar niveles operacionales adecuados para la etapa de Secado y se implementó un prototipo de Limpieza para estandarizar el tiempo de procesamiento y mantener dentro del rango adecuado las variables que afectan el rendimiento del grano almacenado. Se implementaron las mejoras propuestas y se estableció un plan de control sobre las operaciones rediseñadas de *Secado* y *Limpieza* de la semilla de arroz. Finalmente, se obtuvieron resultados favorables para la existencia del presente proyecto multidisciplinario, lo cual permitió dar la pauta a que el mismo sea replicado en un futuro, para acoger los requerimientos de otros gremios que no cuenten con los recursos económicos y técnicos para sus procesos de obtención de semilla de manera factible, viable y deseable.

Palabras Clave: Arroz, Pos-Cosecha, Rediseño, Limpieza, Secado.

ABSTRACT

In this project we present a redesign in the drying and cleaning phases of the rice seed production process for small producers, using DMAIC Methodology, to increase the germination percentage of the stored grain, considering the existing restrictions of time, economic resources and absence of historical records in the process. In the first stage, we defined the requirements of the small producers through interviews with small producers, a VOC, and a CTQ, Subsequently, we delimited the scope of the project using a SIPOC diagram. Then, we quantified the current yield of the stored seed, and diagrammed the post-harvest process carried out. After that, we identified the causes for low yield of the stored seed; we developed a mathematical model to determine adequate operational levels for the drying stage, and a cleaning prototype was implemented to standardize the processing time and maintain of the adequate range the variables that affect the yield of the stored grain. The proposed improvements were implemented and a control plan was established on the redesigned operations of Drying and Cleaning rice seed. We obtained favorable results in this multidisciplinary project, setting path to future replicas of the work for other small farmers associations that do not have the economic and technical resources to obtain high quality seeds in a feasible, viable and desirable way.

Keywords: *Rice, Post-Harvest, Redesign, Cleaning, Drying.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	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 medición	2
1.1.2 Alcance del proyecto	2
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco teórico.....	4
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología	9
2.1 Etapa de DEFINICIÓN.....	9
2.1.1 Levantamiento de información.....	9
2.1.2 Declaración del problema	11
2.1.3 Determinación del alcance.....	12
2.1.4 Identificación de las necesidades del cliente	12
2.1.5 Restricciones del proyecto.....	15

2.2	Etapa de MEDICIÓN	15
2.2.1	Diagrama de Flujo del proceso pos cosecha	15
2.2.2	Plan de recolección de datos	17
2.2.3	Validación de los datos	20
2.3	Etapa de ANÁLISIS	22
2.3.1	Diagrama de Ishikawa	23
2.3.2	Matriz de Causa-Efecto	23
2.3.3	Plan de verificación de causas	27
2.3.4	Matriz de 5 ¿Por qué´s?	32
2.4	Etapa de MEJORAS	34
2.4.1	Soluciones propuestas	34
2.4.2	Evaluación y selección de soluciones.....	36
2.4.3	Diseño de soluciones.....	37
2.4.4	Plan de implementación de soluciones.....	46
2.5	Etapa de CONTROL.....	50
CAPÍTULO 3.....		55
3.	Resultados y Análisis.....	55
3.1	Resultados generales	55
3.2	Resultados específicos	56
3.3	Análisis de factibilidad económica	58
3.4	Resultados del Análisis de Factibilidad Económica	60
CAPÍTULO 4.....		61
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	61
4.1	Conclusiones	61
4.2	Recomendaciones	62
BIBLIOGRAFÍA.....		63

ANEXOS.....65

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral.
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
FAO	<i>Food and Agriculture Organization.</i>
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos.
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Implementar mejora y Controlar.
VOC	Voice of Costumer.
CTQ	<i>Critical to Quality.</i>
SIPOC	<i>Suppliers, Input, Process, Output, Customer.</i>
4W+2H	<i>What, Who, Where, When, How Many and How.</i>
ISTA	<i>International Seed Testing Association.</i>
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment.</i>
BCE	Banco Central del Ecuador.
TMAR	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento.
VAN	Valor Actual Neto.
TIR	Tasa Interna de Retorno.

SIMBOLOGÍA

kg	Kilogramo
lb	Libra
ha	Hectárea
%	Por ciento

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Actual proceso pos cosecha de los pequeños productores.....	9
Figura 2.2 Parcela del terreno de cultivo	10
Figura 2.3 Entrevista con el Presidente de la Asociación.....	11
Figura 2.4 Análisis 4W+2H.....	11
Figura 2.5 Diagrama SIPOC.....	12
Figura 2.6 Entrevista con los pequeños productores.....	12
Figura 2.7 VOC.....	13
Figura 2.8 Diagrama de Afinidad.....	13
Figura 2.9 Diagrama CTQ	14
Figura 2.10 Diagrama de Proceso Actual.....	16
Figura 2.11 Asignación de variables a medir por cada carrera.....	17
Figura 2.12 Curva de temperatura diaria.....	21
Figura 2.13 Lluvia de ideas sobre posibles causas	22
Figura 2.14 Diagrama de Ishikawa de posibles causas.....	23
Figura 2.15 Peso en el Proceso de cada Yi.....	23
Figura 2.17 Pareto de causas y factores Yi.....	26
Figura 2.18 Sistema de almacenamiento actual.....	28
Figura 2.19 Proceso pos-cosecha actual	28
Figura 2.20 Arreglos con diferentes espesores	29
Figura 2.21 Resultado gráfico por tratamiento.....	29
Figura 2.22 Prueba piloto de limpieza	30
Figura 2.23 Diagrama de cajas para 2 muestras de germinación	31
Figura 2.24 Resultado gráfico del contenido de humedad de 3 muestras.....	31
Figura 2.25 Matriz de priorización para el sistema de almacenamiento	34
Figura 2.26 Vista frontal y superior acotada en mm del sistema de almacenamiento ...	35

Figura 2.27 Matriz Impacto-Esfuerzo.....	37
Figura 2.28 Zaranda manual de doble malla	38
Figura 2.29 Vistas superior y laterales acotadas en mm de la zaranda manual.....	38
Figura 2.30 Esquema gráfico del funcionamiento de la zaranda manual	39
Figura 2.31 Prueba piloto de la Limpieza con la zaranda manual	40
Figura 2.32 Curva de fatiga y porcentaje de tolerancias	41
Figura 2.33 Resultados de la evaluación RULA de la limpieza	42
Figura 2.34 Arreglo del diseño experimental con 3 espesores diferentes	43
Figura 2.35 Diagrama de residuales del Diseño Experimental	44
Figura 2.36 Diagrama de interacciones del Diseño Experimental	45
Figura 2.37 Diagrama de optimización del Diseño Experimental	45
Figura 2.38 Instalación del silo automatizado.....	48
Figura 2.39 Taller sobre buenas prácticas pos-cosecha	49
Figura 2.40 Entrega oficial y capacitación sobre uso de la zaranda manual	49
Figura 2.41 Esparcimiento de semilla de arroz acorde a los niveles operacionales obtenidos en el diseño experimental	50
Figura 2.42 Charla de información a los miembros de la asociación.....	51
Figura 2.43 Tríptico entregado a los miembros de la asociación sobre el sistema de almacenamiento	51
Figura 2.44 Vistas superior, frontal, lateral acotada en milímetros y en perspectiva del dispositivo propuesto.....	52
Figura 2.45 Esquema de funcionamiento del dispositivo propuesto.....	52
Figura 2.46 Esquema de toma de peso de semilla de arroz para limpieza	53
Figura 2.47 Esquema de limpieza controlado con cronómetro.....	54
Figura 3.1 Ilustración sobre la reducción del tiempo de secado	56
Figura 3.2 Ilustración sobre el aumento del nivel de pureza de semilla	56
Figura 3.3 Reducción del tiempo de ciclo conjunto de Secado y Limpieza	57

Figura 3.4 Ilustración del porcentaje de germinación	57
Figura 3.1 Resultados del Análisis de la Factibilidad Económica	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Plan de Recolección de Datos.....	18
Tabla 2.2 Esquema de toma de datos de germinación	20
Tabla 2.3 Esquema de toma de datos de impurezas	20
Tabla 2.4 Esquema de toma de datos de humedad	20
Tabla 2.5 Esquema de toma de datos de tiempo de secado.....	21
Tabla 2.6 Esquema de toma de datos de temperatura ambiente	21
Tabla 2.7 Resultados de encuesta- parte 1	24
Tabla 2.8 Resultados de encuesta- parte 2	25
Tabla 2.9 Clasificación ABC sobre causas y factores Yi	25
Tabla 2.10 Plan de Verificación de Causas.....	27
Tabla 2.11 Matriz de 5 ¿Por qué´s?	33
Tabla 2.12 Propuestas de Mejora para Causas raíces.....	36
Tabla 2.13 Datos de la prueba piloto para la Limpieza.....	40
Tabla 2.14 Datos tomados del diseño experimental para el secado	43
Tabla 2.15 Plan de Implementación para soluciones 1 y 2.....	47
Tabla 2.16 Plan de Implementación para Solución 3	47
Tabla 2.17 Plan de Implementación para Solución 4	48
Tabla 2.18 Plan de Control para el Proceso de Secado y Limpieza.....	54
Tabla 3.1 Resultados Generales del Proyecto	55
Tabla 3.2 Datos de Ingresos y Costos del Proyecto	58
Tabla 3.3 Inversión del Proyecto	59
Tabla 3.4 Capital de Trabajo	59

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Según la FAO: “En términos sociales y productivos el cultivo del arroz es la producción más importante del país, pero también es importante en el tema nutricional ya que esta gramínea es la que mayor aporte de calorías brinda de todos los cereales”.

Actualmente en el Ecuador existen aproximadamente 325 000 hectáreas destinadas al cultivo de arroz, de las cuales el 65% corresponde a medianos y pequeños productores (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018). Por lo cual, estos últimos agentes del sector arrocero, constituyen un rol fundamental en la producción y abastecimiento de dicho cereal al mercado alimenticio de los ecuatorianos que optan por consumir arroz producido a nivel nacional.

El consumo anual de arroz en Ecuador es de 54 kg por persona en promedio, mientras que el rendimiento de tonelada métrica por hectárea a nivel nacional es de 2.88 Tm/ha, siendo la provincia del Guayas la que mayor aporta en la producción anual de arroz en cáscara, con un 71% de participación (INEC, 2016).

En el cantón Santa Lucía (Guayas), específicamente en el sector “Paipayales”, se asienta un gremio de pequeños productores arroceros que contribuyen a la continuidad de esta actividad agrícola tan importante para el país, pero actualmente no cuentan con los recursos técnicos y económicos necesarios para lograr un rendimiento de Tm/ha adecuado que les permita crecer como asociación y continuar aportando a la alimentación del país proveyendo este grano.

El presente proyecto está orientado a empatizar con los pequeños productores, identificar sus requerimientos y oportunidades de mejora, analizar, idear, diseñar y prototipar mejoras a su proceso de producción de semilla de arroz, para lograr el rendimiento deseado en el próximo ciclo de cosecha, y así poder obtener un incremento sustancial en la producción agrícola a nivel del pequeño productor otorgándole una mejor competitividad en el mercado agrícola arrocero.

1.1 Descripción del problema

La Asociación de pequeños productores de arroz ubicada en el cantón Santa Lucía, en el sector “Paipayales”, compran sacos de semilla certificada para completar su parcela de arroz cada ciclo de cultivo (cada 5 meses), debido a su bajo **porcentaje de germinación** del 51% de la semilla almacenada.

1.1.1 Variable de medición

La métrica que se va a mejorar es el porcentaje de germinación de la semilla almacenada, que puede expresarse según la ecuación 1.1:

$$\%Germinación = \frac{Cantidad\ de\ semillas\ que\ germinan}{Cantidad\ total\ de\ semillas\ almacenadas} \times 100\% \quad (1.1)$$

Esta métrica se cuantificará al final del proyecto, debido a que la metodología usada corresponde a la carrera de Ingeniería Agrícola y Biológica.

1.1.2 Alcance del proyecto

El proyecto se enfoca en las etapas pos-cosecha de Secado y Almacenamiento del grano.

1.2 Justificación del problema

Los costos de producción de semillas de arroz aumentan debido a falta de equipos y procesos adecuados que permitan conservar la calidad de la semilla de arroz en los procesos de pos cosecha que se realizan actualmente en la asociación de pequeños productores del cantón Santa Lucía, estos costos extras son asumidos directamente por el agricultor generando una menor rentabilidad al momento de invertir en la producción de semillas de arroz e incluso se puede llegar a trabajar en pérdida. Es por esto que el mejoramiento de las operaciones pos cosecha de Secado y Limpieza ayudaría a solucionar este problema, conservando la calidad de la semilla y adicionalmente aumentando las ganancias del agricultor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Mejorar la calidad de semilla de arroz de pequeños productores, mediante el diseño, construcción y validación de un sistema de almacenamiento.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las necesidades y características de la semilla de arroz mediante el uso de la información primaria. (Ingeniería Agrícola y Biológica).
2. Analizar factores físicos en el proceso pos cosecha. (Ingeniería Agrícola y Biológica).
3. Estandarizar las etapas de Secado y Limpieza del proceso pos cosecha considerando factores operacionales y humanos. (Ingeniería Industrial).
4. Establecer niveles operacionales adecuados en la etapa de Secado del proceso. (Ingeniería Industrial).
5. Realizar el diseño y construcción de un sistema de almacenamiento de semillas de arroz. (Ingeniería Mecánica).
6. Realizar el diseño e instalación de un sistema de control automático de aireación el cual conecte sensores de temperatura y humedad con un ventilador. (Ingeniería Mecánica).
7. Elaborar el manual de uso y mantenimiento del equipo. (Ingeniería Mecánica).
8. Diseñar e implementar ensayos biológicos para el monitoreo de los parámetros agronómicos. (Ingeniería Agrícola y Biológica).
9. Analizar la calidad de la semilla de arroz para el control de parámetros sanitarios. (Ingeniería Agrícola y Biológica).
10. Analizar la factibilidad económica del proyecto. (Ingeniería Industrial).

1.4 Marco teórico

Arroz:

Es la semilla de la planta *Oryza Sativa*, perteneciente al grupo de los cereales y es el segundo cereal un más producido en el mundo, después del maíz. Es el alimento básico de algunas culturas culinarias asiáticas, así como también de América Latina. [1]

Proceso Pos Cosecha:

Se refiere al manejo adecuado para la conservación de diversos productos agropecuarios, con el fin de conservar la calidad para su posterior comercialización o consumo. [2]

Secado:

El proceso de Secado tiene como objetivo reducir el contenido de humedad de las semillas de arroz, ya que este factor influirá en la eficiencia del almacenamiento y una semilla húmeda favorecerá el desarrollo de microorganismos; para el caso del arroz existen medidas o rangos de humedad que se debe alcanzar siendo un rango adecuado del 12% al 13% de contenido de humedad. [3]

Limpieza:

El proceso de Limpieza tiene como objetivo eliminar impurezas y agentes extraños que se encuentren en la masa de semillas de arroz cosechadas. Estos pueden ser residuos vegetales de la planta, piedras, terrones, animales muertos y fragmentos de otras plantas. [4]

Selección:

Es el proceso previo al almacenamiento y consiste en retirar de la masa principal del producto aquellos granos que presenten muestras o síntomas de ataques de insectos o microorganismos, o simplemente que se encuentren partidos. [5]

Almacenamiento:

El almacenamiento consiste en depositar la cosecha de semillas de arroz una vez finalizadas las etapas de limpieza y secado (en ciertos casos la selección es opcional), para dar lugar a la conservación de la semilla con todas sus propiedades fisiológicas de calidad hasta el momento en que se da lugar a la siembra. En esta etapa se mantiene controlada la temperatura del grano en un rango adecuado. [6]

Diagrama de procesos:

Es un diagrama que muestra las distintas etapas de un proceso y hace uso de cierta simbología para demostrar el flujo de cierto servicio o producto, es utilizado con el objetivo de describir un proceso y hacerlo tangible, así como también en procesos de estandarización, mejora continua o rediseño de algún proceso existente. [7]

DMAIC:

Es una metodología robusta que hace uso de técnicas estadísticas y no estadísticas, que posee 5 fases que se deberán desarrollar de forma secuencial: Definir, Medir, Analizar, Implementar Mejoras y Controlar. A continuación, en detalle cada una de las etapas: [8]

Definir:

Es la etapa inicial, en la cual se describen las razones o fundamentos para la elaboración del proyecto, al final de esta etapa se tendrán claros los objetivos, alcance del proyecto, recursos necesarios y equipo. Hace uso de herramientas para la selección del proyecto como Diagramas de Pareto para orientar fuerzas a un problema significativo, Diagrama SIPOC para especificar actividades entre los procesos, Diagramas de Proceso para una fácil identificación de actividades y oportunidades de mejora, así como también Diagramas de Priorización para seleccionar aquellas variables de impacto que se alineen al problema seleccionado. [9]

Medir:

Esta etapa tiene como objetivo conocer el estado actual del problema y reunir la mayor cantidad de información necesaria sobre aquellas variables que afecten al problema seleccionado, se deben establecer métricas o indicadores que ayudaran a establecer una línea base del problema, para lograr esto se puede hacer uso de Histogramas o Gráficas de Control del Proceso, además se deberá analizar el sistema de medición y validar objetivos y alcance del proyecto. [9]

Analizar:

El objetivo de esta etapa es evaluar la capacidad del proceso y comprobar si este se encuentra bajo los límites de especificación requeridos y detallar las causas que generan variación, para lograr estos objetivos se pueden hacer uso de ciertas herramientas como el Diagrama Ishikawa para conocer la causa raíz de un problema, Gráficas de control para identificar causas especiales de variación y Diseño de experimentos para identificar factores y niveles de variación. [9]

Implementar mejora:

Esta etapa tiene como objetivo implementar ideas de mejora y calcular los beneficios que se obtendrán con el nuevo proceso, para ello se pueden implementar ciertas estrategias de mejora continua o estrategias *lean*, también se podrá realizar un análisis de modo de falla para el nuevo proceso o aplicar Diseño de Experimentos para hallar configuraciones óptimas entre los distintos factores y niveles en un proceso. [9]

Controlar:

Esta etapa tiene como objetivo estandarizar el nuevo proceso e implementar estrategias que aseguren el respectivo cumplimiento del mismo, para ello se puede documentar todos los Diagramas de Proceso mejorados, implementar programas de capacitación para que los operarios conozcan y dominen el nuevo método, así como también implementar ayudas o controles visuales para mantener las mejoras alcanzadas. [9]

VOC:

Herramienta de Mejora Continua cuyo objetivo es averiguar lo que le interesa al cliente, esto permite establecer prioridades de diseño enfocados a las necesidades reales del consumidor; esto se lo obtiene mediante un estudio de investigación primaria. [10]

SIPOC:

El objetivo del Diagrama SIPOC es el analizar el proceso y su contexto; para lograr esto se identifican: Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Proceso (Process), Salidas (Outputs) y Usuarios (Customers); los pasos a seguir son los siguientes: [11]

- ✓ Primero se debe seleccionar y delimitar el proceso bajo análisis.
- ✓ Identificar cuáles son las salidas o resultados del proceso.
- ✓ Identificar quiénes son los consumidores o beneficiarios del producto final.
- ✓ Detallar cuáles son los recursos necesarios o entradas del proceso.
- ✓ Finalmente se debe identificar quiénes son los proveedores que proporcionan los recursos.

Estudio de Tiempos:

El Estudio de tiempos es un método que tiene como objetivo estimar la cantidad de trabajo que un operario calificado y correctamente capacitado puede realizar a una velocidad estándar y utilizando de forma eficiente su tiempo. Existen ciertas herramientas que son de ayuda para llevar a cabo este método como un cronómetro, un tablero de estudio de tiempos, así como una cámara videogradora. Con respecto a los elementos del estudio de tiempos es necesario seleccionar a un operario promedio, la operación de estudio debe ser dividida en actividades o grupos de movimientos. [12]

Diagrama Ishikawa:

El Diagrama de Ishikawa también conocido como Diagrama de Causa y Efecto es una herramienta que tiene como objetivo definir la ocurrencia de un determinado problema, el cual es definido como el efecto, y después identificar las causas u ocurrencias que contribuyen a la formación de tal efecto; estas causas están subdivididas en 6 categorías principales: mano de obra, máquina, método, material, medio ambiente y medida; las cuales se subdividen en sub-causas. Un buen diagrama de Ishikawa cuenta con varios niveles de sub-causas, ya que esto brindará una mejor idea sobre el problema y los factores que lo influyen. [13]

Matriz de Impacto VS Esfuerzo:

La Matriz de Impacto y Esfuerzo es una herramienta que permite resumir visualmente los pros y contra de posibles soluciones al problema estudiado. También permite establecer prioridades al momento de escoger la solución más adecuada tomando en cuenta dos criterios:

- a) Nivel de dificultad para implementar la solución;
- b) Nivel de impacto de los beneficios. [14]

Técnica de 5 ¿Por qué's?:

Técnica utilizada en la metodología DMAIC principalmente en la etapa de Análisis que tiene como objetivo encontrar la causa raíz de un problema, para ello se debe primero hallar las variables de entrada o todas las posibles causas de un problema y luego cuestionar cada una de estas causas al menos cinco veces con un "¿Por qué?"; la causa raíz será aquella en la cual se logre responder las 5 veces el "¿Por qué?" o hasta que sea complicado dar respuesta a un "¿Por qué?". [15]

Diseño de Experimentos:

Es una prueba o serie de pruebas cuyo objetivo es identificar u observar el efecto de factores o variables de entrada sobre una o más variables de respuesta. [16]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolló mediante la metodología DMAIC anteriormente descrita, con la finalidad de identificar y atacar directamente las causas raíces de los problemas que aquejan a los clientes del proyecto.

2.1 Etapa de DEFINICIÓN

Esta sección consta de la correspondiente identificación de las necesidades de los clientes para ser traducidas en términos de variables controlables por el proceso, y así saber qué acciones tomar posteriormente. Para esto se utilizan las herramientas: 4W+2H, SIPOC, VOC y CTQ.

2.1.1 Levantamiento de información

Al ser una organización pequeña y sin vida jurídica, la asociación de pequeños productores arroceros no cuenta con un sistema de registro de información histórica para tomar datos que sean relevantes al proceso de levantamiento de información, por ende, se recurrió a entrevistas y visitas para observar el proceso de obtención de semilla de arroz *in situ*.

El proceso pos cosecha actual que llevan a cabo los pequeños productores es el siguiente descrito en la figura 2.1:



Figura 2.1 Actual proceso pos cosecha de los pequeños productores

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Este proceso se lleva a cabo en la propiedad del Presidente de la asociación, para finalmente guardar los sacos de semilla dentro de su casa, y después de 2 meses sembrar dicha semilla en su parcela de cultivo, junto a su casa con un área de 3600 m².

El dato del área de la parcela fue validado con el programa en línea “DaftLogic” descrito en la figura 2.2:



Output : Total Area(s)

3578.21 m² | 0.00 km² | 0.88 acres | 0.36 hectares | 38515.51 feet² | 0.00 square miles | 0.00 square nautical miles
Current Total Perimeter
291.870m OR 957.579feet

Figura 2.2 Parcela del terreno de cultivo

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño elaborado en DaftLogic.

A través de una entrevista al presidente de la asociación, evidenciada en la figura 2.3, se pudo comprender uno de sus principales problemas como productor arrocero, el cual surge de su propia declaración:

“Yo necesito 1 saca de semilla de arroz de 200 lb para completar mi parcela de cultivo, sin embargo, no completo la cantidad necesaria debido al bajo rendimiento de la semilla almacenada, y por tal razón debo comprar saquillos de 100 lb de semilla certificada para asegurar el próximo ciclo de cosecha.”



Figura 2.3 Entrevista con el Presidente de la Asociación

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño.

2.1.2 Declaración del problema

Mediante la herramienta 4W+2H descrito en la figura 2.4, se pueden identificar los distintos segmentos del problema a solucionar.

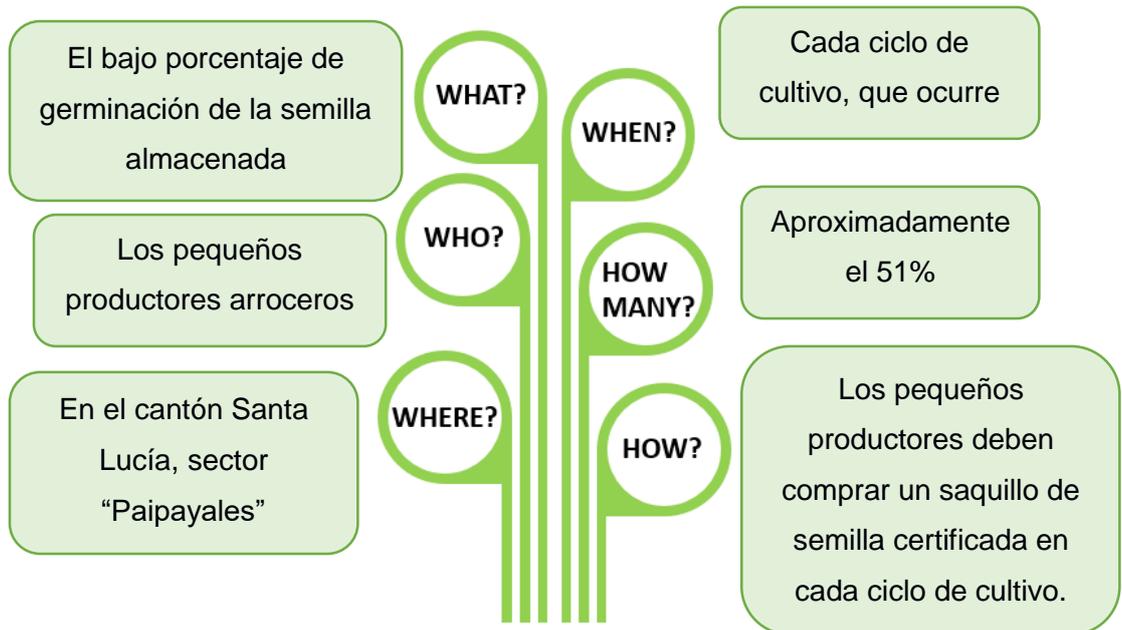


Figura 2.4 Análisis 4W+2H

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Por lo tanto, el problema declarado queda de la siguiente manera:

La asociación de pequeños productores de arroz ubicada en el cantón Santa Lucía, en el sector "Paipayales", compran sacos de semilla certificada para completar su parcela de arroz cada ciclo de cultivo (cada 5 meses), debido a su bajo **porcentaje de germinación** del 51% de la semilla almacenada.

2.1.3 Determinación del alcance

Mediante un diagrama SIPOC se puede observar el alcance del proyecto, mismo que se ilustra en la figura 2.5:

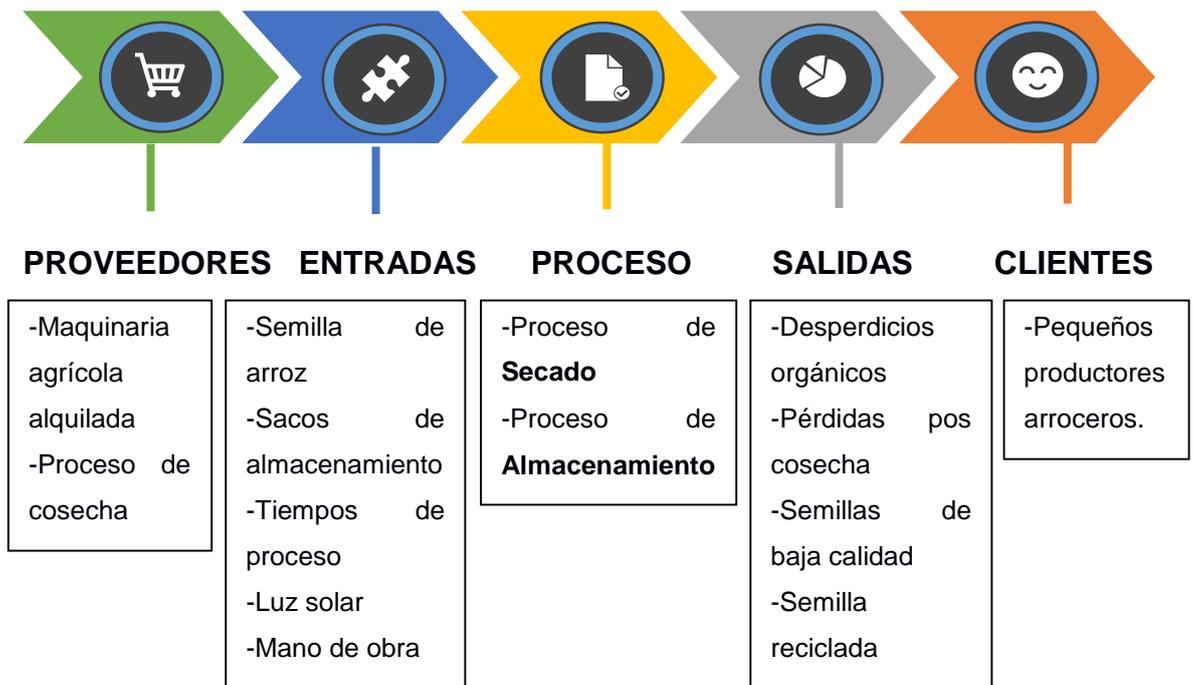


Figura 2.5 Diagrama SIPOC

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

2.1.4 Identificación de las necesidades del cliente

A través de un VOC se pudo recopilar los distintos requerimientos que tienen los pequeños productores en la zona, evidenciado en las figuras 2.6 y 2.7.



Figura 2.6 Entrevista con los pequeños productores

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

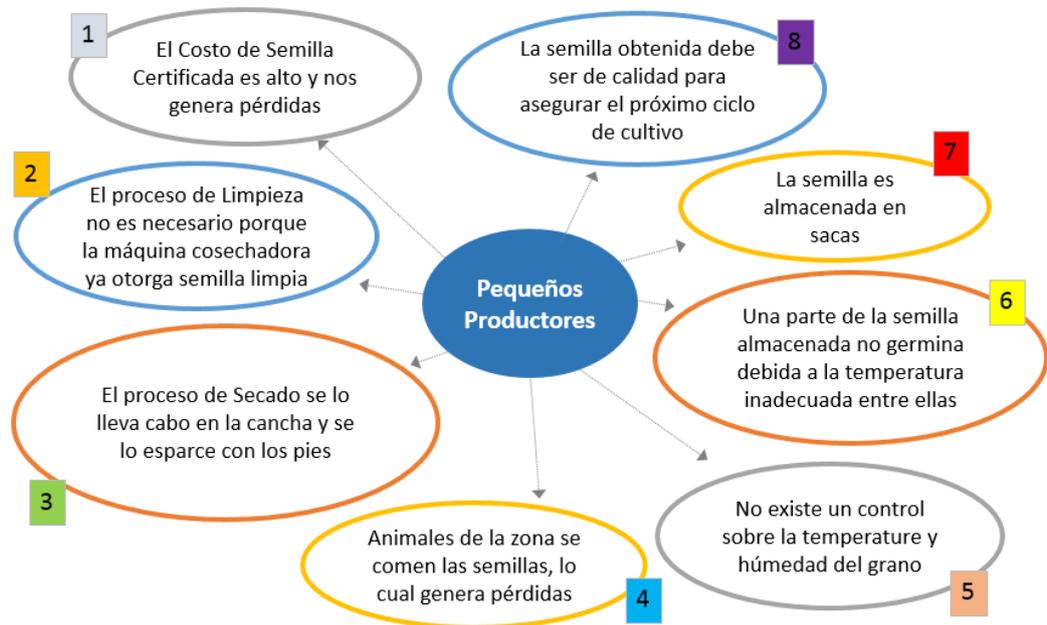


Figura 2.7 VOC

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Posteriormente, mediante un diagrama de afinidad, se pudo agrupar las distintas observaciones en pequeños requerimientos a su vez estos en 3 grandes requerimientos principales, los cuales fueron: Mejoramiento de Procesos, Semilla de Calidad y Ahorros.

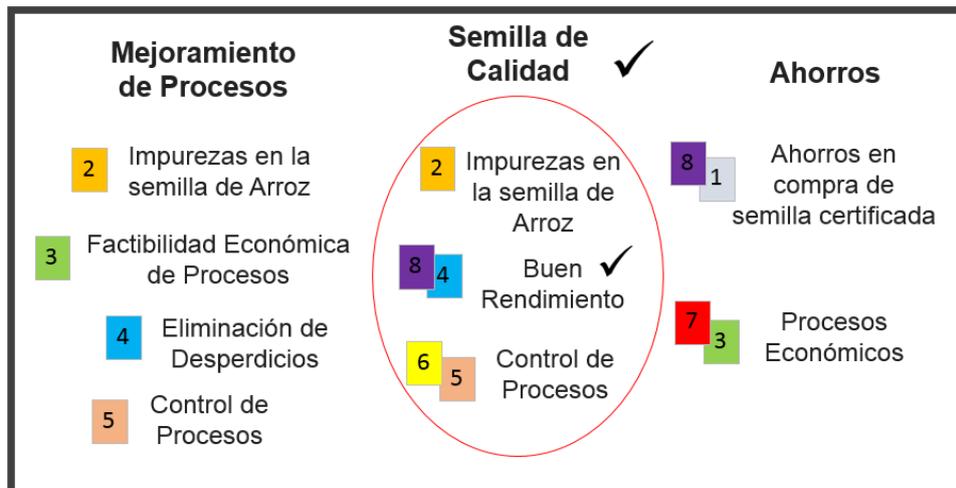


Figura 2.8 Diagrama de Afinidad

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como se puede ver, la figura 2.8 está conformada por las observaciones de los agricultores, representadas con su numeración respectiva. Adicional a esto, cada observación y requerimiento posee el mismo peso ya que resulta complejo determinar alguno con mayor importancia que los demás debido a que es un proceso no estandarizado y muy poco conocido. Por ende, el criterio de selección para el requerimiento principal es el que mayor número de observaciones abarque, que en este caso es **Semilla de Calidad**. Una vez seleccionado el requerimiento principal, se procede a desplegar los principales factores que influyen en la calidad de la semilla de arroz mediante la herramienta CTQ descrita en la figura 2.9:

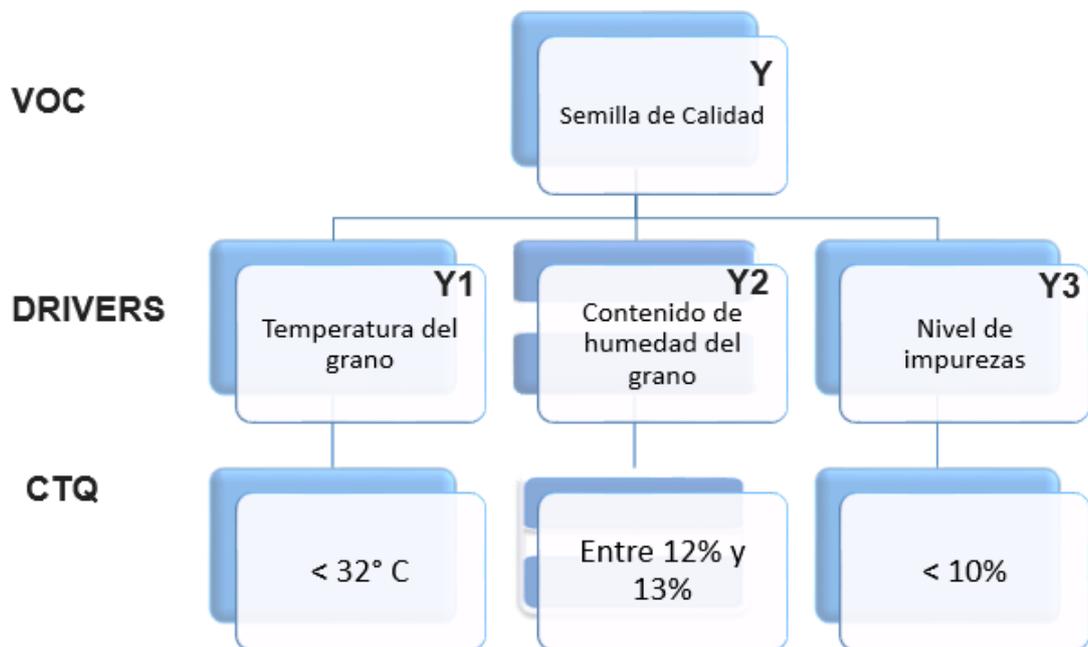


Figura 2.9 Diagrama CTQ

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Si bien es cierto, el problema definido para este proyecto es el porcentaje de germinación del saco de semilla almacenada, y el requerimiento principal de los pequeños productores es semilla de calidad, cabe indicar que estos 2 parámetros están muy ligados tal como se lo definió en la variable de medición, ecuación 1.1.

Las semillas que germinan y están aptas para producir son las **Semillas de Calidad** deseadas por el agricultor, por tanto, al mejorar la calidad de la semilla, se incrementa a la vez el porcentaje de germinación de la semilla almacenada.

Las Semillas de Calidad se pueden expresar mediante la ecuación 2.1:

(2.1)

$$\text{Semilla de Calidad} = \begin{cases} 1, & \text{Si la semilla germina} \\ 0, & \text{Si la semilla NO germina} \end{cases}$$

2.1.5 Restricciones del proyecto

Debido al hecho de que la organización es una asociación de pequeños productores, se cuenta con las restricciones de:

- **Tiempo**, ya que la cosecha se lleva a cabo 2 veces al año (cada 5 meses).
- **Recursos económicos bajos**, debido a que son pequeños productores, se debe ser creativo en las soluciones propuestas.
- **Ausencia de registros históricos de datos**, por el hecho de llevar a cabo procesos no estandarizados y no documentados.

2.2 Etapa de MEDICIÓN

En la presente etapa se determinarán las variables de interés para el proyecto descrito que deberán ser recolectadas para someterlas a su respectivo análisis.

2.2.1 Diagrama de Flujo del proceso pos cosecha

A través del siguiente diagrama se puede apreciar gráficamente el proceso que siguen actualmente los pequeños productores:

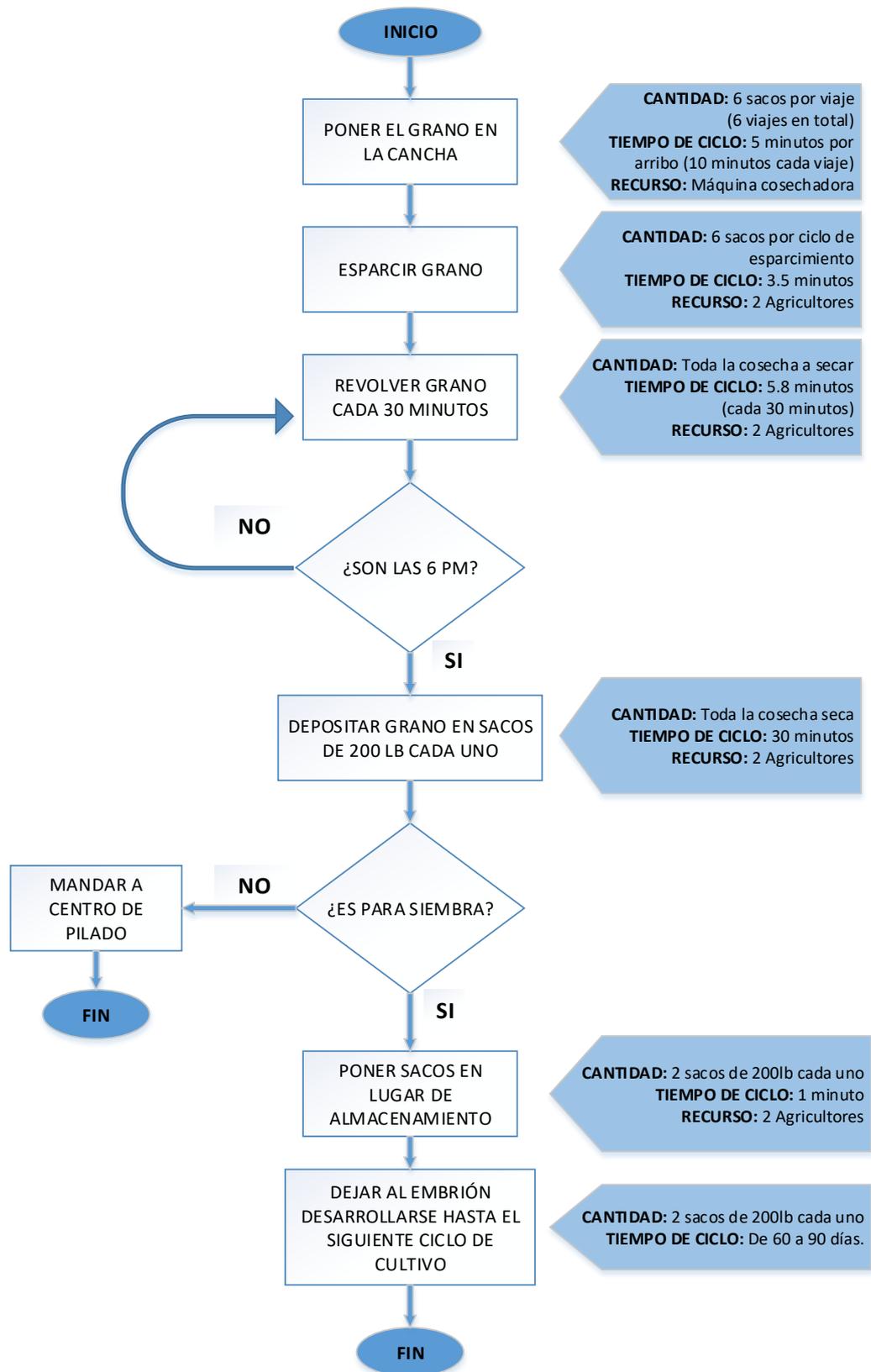


Figura 2.10 Diagrama de Proceso Actual

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño en VISIO

El diagrama de flujo del proceso pos cosecha se lo obtuvo mediante observaciones del proceso *in situ* el día que realizaron la cosecha de arroz, y los datos en cada operación descrita se lo realizó mediante observación directa, preguntas a los agricultores y estudio de tiempos.

Mediante el diagrama de flujo se pueden entender cuáles son las operaciones fundamentales del proceso pos cosecha, y a la vez se clarifica qué variables se necesitarán medir para el desarrollo del proyecto.

2.2.2 Plan de recolección de datos

Al ser un proyecto multidisciplinario, existe un mar de variables que se necesitarán medir, pero no todas deben ser medidas para el objetivo de este proyecto en particular.

A continuación, se presentan las variables segmentadas por carrera en la figura 2.11, que se requieren para el desarrollo del proyecto global:

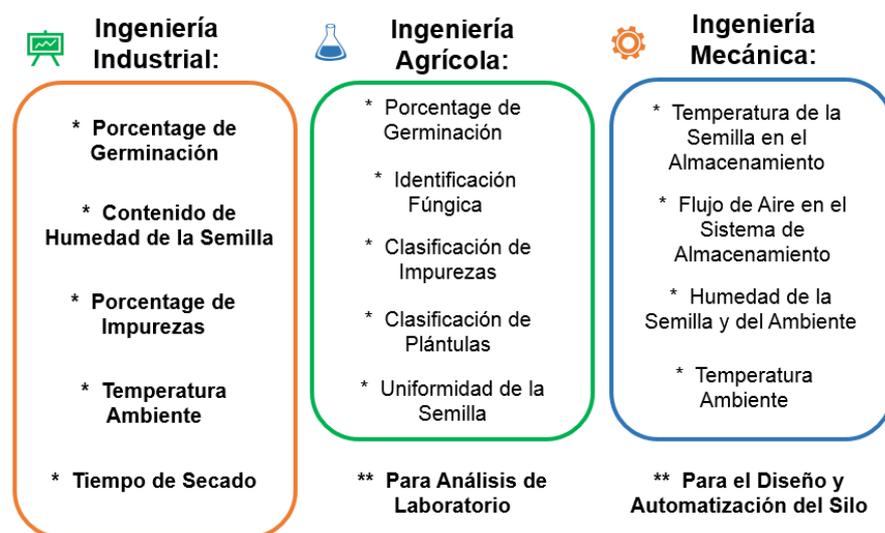


Figura 2.11 Asignación de variables a medir por cada carrera

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

A continuación, se muestra el plan de recolección de datos en la tabla 2.1:

¿Qué? (What?)	Métrica: Porcentaje de germinación Tipo: Variable continua Definición operacional: %	Métrica: Contenido de humedad Tipo: Variable continua Definición operacional: %	Métrica: Temperatura ambiente Tipo: Variable Continua Definición operacional: ° C
¿Dónde? (Where?)	Santa Lucía, sector Paipayal	Santa Lucía, sector Paipayal	Santa Lucía, sector Paipayal
¿Cuándo? (When?)	Al final de la etapa de Almacenamiento	Durante la etapa de Almacenamiento	Durante la etapa de Secado
¿Por qué? (Why?)	Para comparar el porcentaje de germinación antes y después de mejorar el proceso.	Para conocer el contenido de humedad de la semilla y comparar con el límite permitido.	Para conocer la temperatura ambiente mientras se seca la semilla y así determinar el ratio de secado.
¿Cómo? (How?)	Método de registro: Base de datos de los estudiantes Método de recolección: Contar cada semilla que germinó dentro de una muestra.	Método de registro: Base de datos de los estudiantes Método de recolección: Medidor de humedad de granos.	Método de registro: Base de datos de los estudiantes. Método de recolección: Medidor de temperatura.
¿Quién? (Who?)	Estudiante de Ingeniería Agrícola	Estudiante de Ingeniería Industrial	Presidente de la asociación

Tabla 2.1 Plan de Recolección de Datos

Tabla 2.1 - Continuación Plan de Recolección de Datos

¿Qué? (What?)	<p>Métrica: Porcentaje de impurezas Tipo: Variable Continua Definición operacional: %</p>	<p>Métrica: Tiempo de Secado Tipo: Variable Continua Definición operacional: Minutos</p>	<p>Métrica: Costos de suministros, equipos y semilla certificada. Tipo: Variable Continua Definición operacional: \$</p>
¿Dónde? (Where?)	Santa Lucía, sector Paipayal	Santa Lucía, sector Paipayal	Santa Lucía, sector Paipayal
¿Cuándo? (When?)	Al final de los procesos de Secado y Almacenamiento	Durante la etapa de Secado	Al final del proceso de almacenamiento
¿Por qué? (Why?)	Conocer el porcentaje de impurezas antes y después del proceso mejorado.	Conocer el tiempo en que la semilla tarda en secarse bajo ciertas condiciones para estimar el ratio de secado.	Para ser usado en el flujo de caja y el análisis de factibilidad económica del proyecto y otros indicadores (VAN, TIR, PAYBACK)
¿Cómo? (How?)	<p>Método de registro: Base de datos de los estudiantes. Método de recolección: Contar directamente las impurezas de la muestra</p>	<p>Método de registro: Base de datos de los estudiantes. Método de recolección: Cronómetro.</p>	<p>Método de registro: Base de datos de los estudiantes. Método de recolección: Registro de facturas</p>
¿Quién? (Who?)	Estudiante de Ingeniería Agrícola	Estudiante de Ingeniería Industrial	Estudiante de Ingeniería Industrial

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

2.2.3 Validación de los datos

La determinación del porcentaje de germinación, porcentaje de impurezas de la semilla y el contenido de humedad fue competencia del miembro de Ingeniería Agrícola y Biológica del proyecto, mientras que los datos de tiempo de secado fueron responsabilidad de los miembros de Ingeniería Industrial. Finalmente, la temperatura fue responsabilidad del miembro de Ingeniería Mecánica.

A continuación, se muestran los datos tomados desde las tablas 2.2 a 2.6:

Tabla 2.2 Esquema de toma de datos de germinación

Porcentaje de Germinación	
Valor actual:	51%
Responsable:	Estudiante de Ingeniería Agrícola y Biológica
Materiales usados:	Semillas de arroz, bandeja plástica, toalla de papel absorbente, plástico transparente.
Procedimiento usado:	Proceso de análisis de germinación según las normas ISTA.

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Tabla 2.3 Esquema de toma de datos de impurezas

Porcentaje de Impurezas	
Valor actual:	14%
Responsable:	Estudiante de Ingeniería Agrícola y Biológica
Materiales usados:	Semillas de arroz, balanza electrónica, pinza.
Procedimiento usado:	Proceso de análisis de impurezas según las normas ISTA.

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Tabla 2.4 Esquema de toma de datos de humedad

Contenido de Humedad	
Valor actual:	12.5%
Responsable:	Estudiante de Ingeniería Agrícola y Biológica
Materiales usados:	Semillas de arroz, Medidor de humedad de granos, envase de vidrio.
Procedimiento usado:	Proceso de análisis de humedad según las normas ISTA.

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Tabla 2.5 Esquema de toma de datos de tiempo de secado

Tiempo de secado	
Valor actual:	24 horas a 36 horas
Responsable:	Estudiante de Ingeniería Industrial
Materiales usados:	Hoja de papel y bolígrafo
Procedimiento usado:	Entrevistas con los pequeños productores y observación del proceso el día de la cosecha de arroz.

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Tabla 2.6 Esquema de toma de datos de temperatura ambiente

Temperatura ambiente de la zona	
Valor actual:	Ver figura 2.12
Responsable:	Estudiante de Ingeniería Mecánica
Materiales usados:	Hoja de registro diario, sensor de temperatura en la zona
Procedimiento usado:	Entrenamiento al pequeño productor para tome datos de temperatura ambiente de la zona por 15 días desde las 6am hasta las 8pm cada 2 horas.

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

De los datos de temperatura tomados se obtuvo lo siguiente descrito en la figura 2.12:

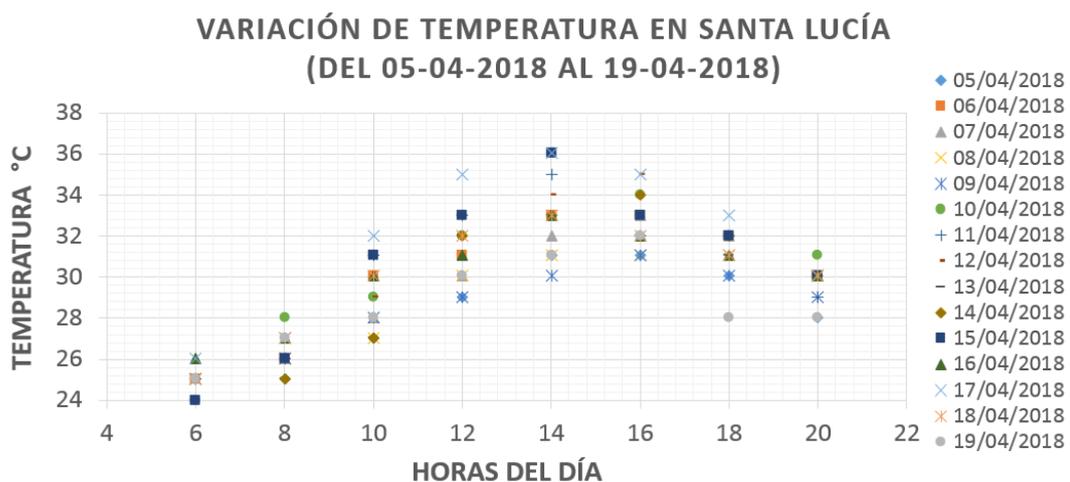


Figura 2.12 Curva de temperatura diaria

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Del diagrama de la figura 2.12 se puede apreciar que:

- Existen 120 datos registrados.
- En promedio, la temperatura diaria entre 6am y 8pm es de 29.77 °C.
- La temperatura ambiente en Santa Lucía osciló entre 24°C a 36°C.
- A las 2pm alcanza la mayor temperatura del día, en promedio.

En resumen, los datos fueron tomados por los mismos integrantes del equipo multidisciplinario bajo procedimientos establecidos por normativas internacionales, junto con la ayuda de un pequeño productor de la zona previamente capacitado y con las herramientas necesarias para registrar los datos adecuados, por ende, se puede concluir que los datos obtenidos son confiables para el desarrollo del proyecto.

2.3 Etapa de ANÁLISIS

Para comenzar con el análisis de causas del proyecto, se realizó una lluvia de ideas entre los autores del presente documento y los señores miembros de la asociación Benito Cortés, Wilber Cortés y Fredy Ramírez, y se muestran en la figura 2.13.

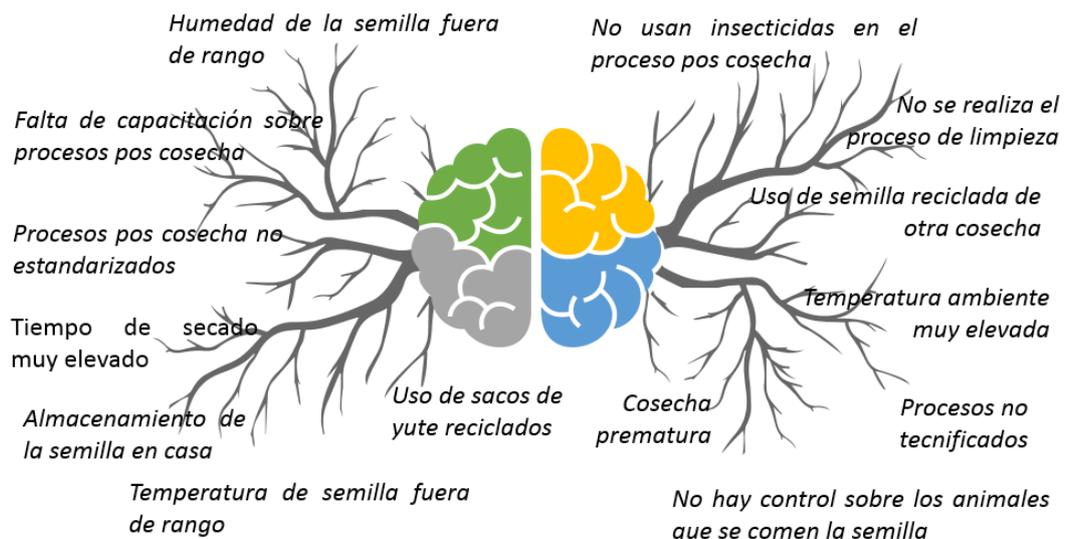


Figura 2.13 Lluvia de ideas sobre posibles causas

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

2.3.1 Diagrama de Ishikawa

Posteriormente se agrupó las distintas posibles causas de la lluvia de ideas en un diagrama de Ishikawa de 4M's tal como se observa en la figura 2.14.

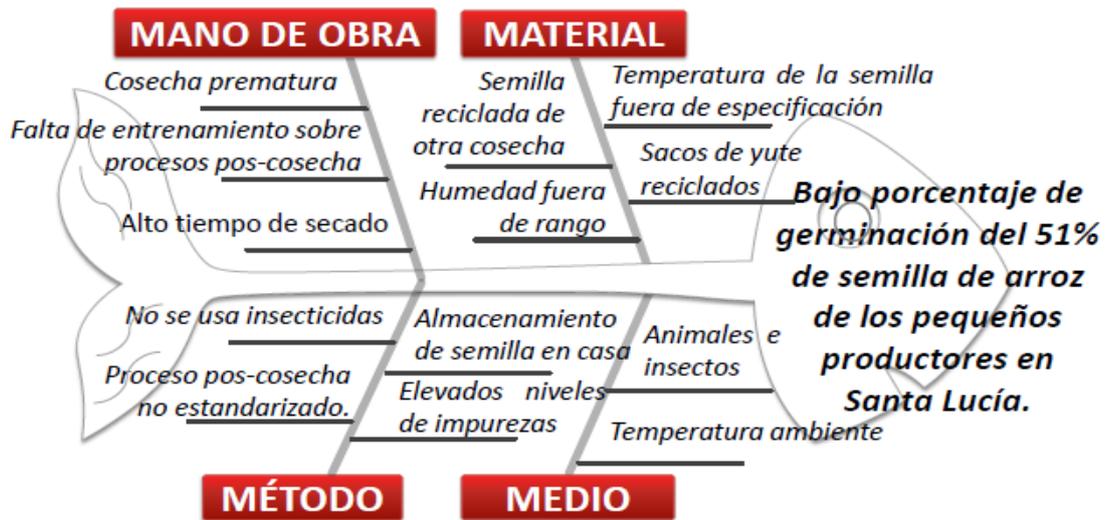


Figura 2.14 Diagrama de Ishikawa de posibles causas

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

2.3.2 Matriz de Causa-Efecto

Para cuantificar la veracidad y el impacto de cada posible causa, se procedió a realizar una evaluación sobre la relación que guardan las posibles causas con cada variable de respuesta Y_i descrita en la figura 2.14, misma que desarrolló el cliente bajo sus conocimientos.

A través de un consenso con el Presidente de la asociación y otros miembros, se otorgó un peso a cada Y_i resultante en el proceso pos cosecha, mismos que se describen en la figura 2.15:

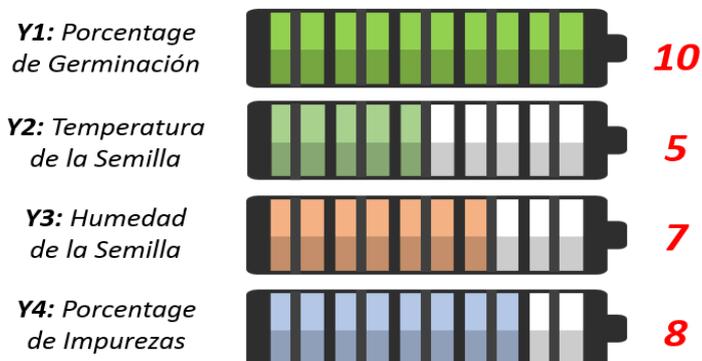


Figura 2.15 Peso en el Proceso de cada Y_i

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Una vez otorgados los pesos a cada factor Y_i , se determinó el nivel de correlación que guardará cada posible causa con cada factor Y_i , tal como se observa en la figura 2.16:



Figura 2.16 Niveles de Correlación entre causas y Factores Y_i

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Si no existe ninguna correlación entre la causa y el factor Y_i , se deja el espacio vacío. Como resultados en la encuesta se obtuvo lo siguiente:

Tabla 2.7 Resultados de encuesta- parte 1

MATRIZ CAUSA & EFECTO		SALIDAS				TOTAL
		Y1 (10)	Y2 (5)	Y3 (7)	Y4 (8)	
ENTRADAS	Falta de capacitación sobre procesos por cosecha	3			3	54
	Tiempo de secado muy elevado	3	3	9		108
	Cosecha prematura	3				30
	Semilla reciclada de otra cosecha	3	1	1	3	66
	Sacos de yute reciclados				1	8
	Porcentaje de impurezas fuera de rango	3			9	102
	Temperatura ambiente fuera de rango		1	1		12

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Tabla 2.8 Resultados de encuesta- parte 2

MATRIZ CAUSA & EFECTO		SALIDAS				TOTAL
		Y1 (10)	Y2 (5)	Y3 (7)	Y4 (8)	
ENTRADAS	Temperatura de semilla fuera de rango	3	9	1		82
	No usan insecticidas para la semilla	3				30
	Procesos no estandarizados	9	1	1	1	110
	Humedad de semilla fuera de rango	3	9	3		96
	Almacenamiento de semilla en casa	9	3	3	1	134
	Animales se comen la semilla				1	8

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Luego, con los resultados obtenidos en las tablas 2.7 y 2.8, se elaboró una clasificación ABC para seleccionar las causas Xi que más efecto tienen sobre los factores Yi.

El porcentaje se lo obtuvo dividiendo la calificación individual de cada posible causa sobre la suma total de todas las calificaciones, que fue **840**, tal como se observa en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Clasificación ABC sobre causas y factores Xi

Xi	CAUSA	TOTAL	% Relativo	% Acumulado
X1	Almacenamiento de semilla en casa	134	15,95%	15,95%
X2	Procesos no estandarizados	110	13,10%	29,05%
X3	Tiempo de secado muy elevado	108	12,86%	41,90%
X4	Porcentaje de impurezas fuera de rango	102	12,14%	54,05%
X5	Humedad de semilla fuera de rango	96	11,43%	65,48%
X6	Temperatura de semilla fuera de rango	82	9,76%	75,24%
X7	Semilla reciclada de otra cosecha	66	7,86%	83,10%
X8	Falta de capacitación sobre procesos pos cosecha	54	6,43%	89,52%
X9	Cosecha prematura	30	3,57%	93,10%
X10	No usan insecticidas	30	3,57%	96,67%
X11	Temperatura ambiente fuera de rango	12	1,43%	98,10%
X12	Saco de yute reciclado	8	0,95%	99,05%
X13	Animales se comen la semilla	8	0,95%	100,00%

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

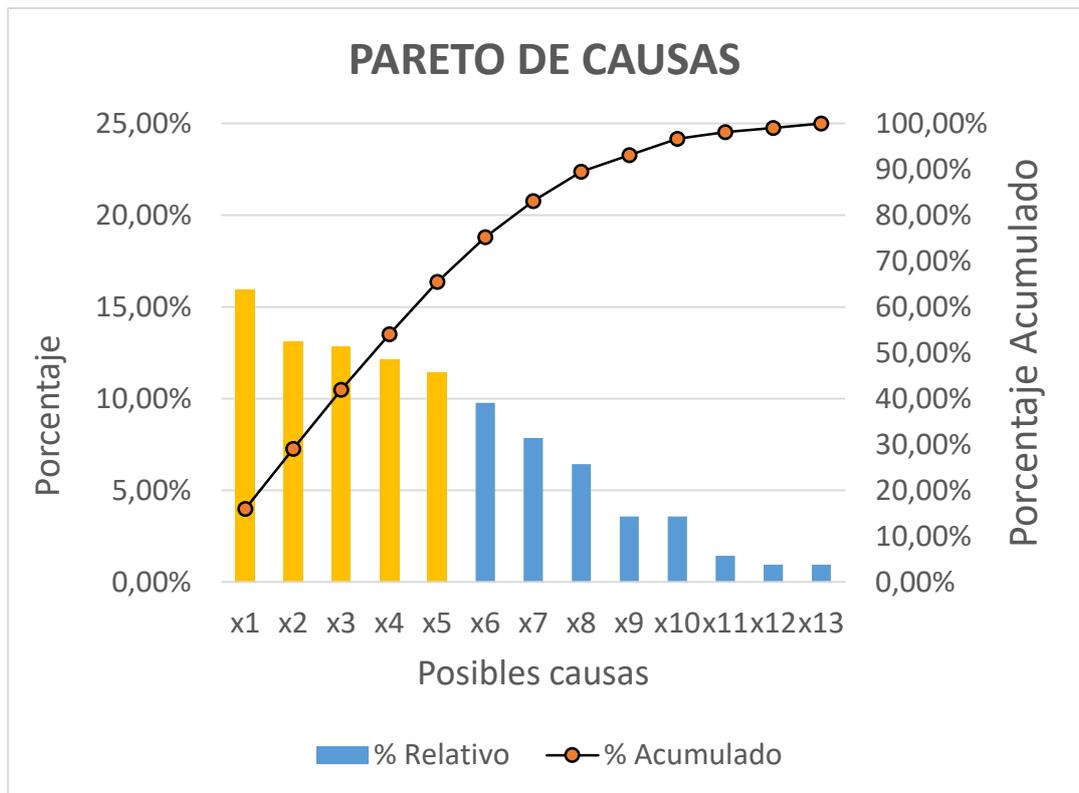


Figura 2.17 Pareto de causas y factores Yi

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como se puede observar en la figura 2.17, las causas que mayor calificación obtuvieron fueron:

- X1:** Almacenamiento de semilla en casa.
- X2:** Procesos no estandarizados
- X3:** Tiempo de secado muy elevado
- X4:** Porcentaje de impurezas fuera de rango
- X5:** Humedad de semilla fuera de rango.

Estas posibles causas ocuparon aproximadamente el 65% de la nota total. Por ende, se procede a realizar un plan de verificación de causas sobre estas 5 posibles causas principales, para validar las hipótesis que surgieron sobre las mismas.

2.3.3 Plan de verificación de causas

En la tabla 2.10 se muestra el plan de verificación de causas.

Tabla 2.10 Plan de Verificación de Causas

Potencial Xi	Teoría acerca del Xi	¿Cómo verificarlo?	Estado
X1: Almacenamiento de semilla en casa	El actual sistema de almacenamiento está matando al embrión ya que no puede protegerlo de las amenazas durante la etapa.	GEMBA	Completo
X2: Proceso pos-cosecha no estandarizado	El actual sistema pos-cosecha posee una alta variabilidad en términos de no controlar las salidas de su proceso.	GEMBA y Entrevistas	Completo
X3: Altos tiempos de secado	El tiempo de secado es muy alto dado que no esparcen uniformemente el grano, ocasionando que los rayos solares no peguen igual en todos los lados de la capa de arroz esparcida.	ANOVA	Completo
X4: Altos niveles de impurezas	Los altos niveles de impurezas hacen que el saco de semilla de arroz baje su porcentaje de germinación	ANOVA	Completo
X5: Contenido de humedad fuera de rango	La semilla posee un alto contenido de humedad que ocasiona la proliferación de hongos.	Test de humedad con muestras aleatorizadas	Completo

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

2.3.3.1 Verificación de causas

Analizando cada causa descrita en la tabla 2.10 se obtuvo lo siguiente:

Las causas X1: *Almacenamiento en casa* y X2: *Proceso pos-cosecha no estandarizado* se verificaron mediante una visita al GEMBA y entrevistas a los pequeños productores, con lo cual se verificó la veracidad de dichas causas.

En las figuras 2.18 y 2.19 se evidencian dichas causas.



Figura 2.18 Sistema de almacenamiento actual

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño



Figura 2.19 Proceso pos-cosecha actual

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

X3: Altos tiempos de secado

Mediante un análisis de varianza (ANOVA) con 2 tratamientos, se determinó la significancia del factor “espesor de la capa de arroz” sobre el tiempo de secado.

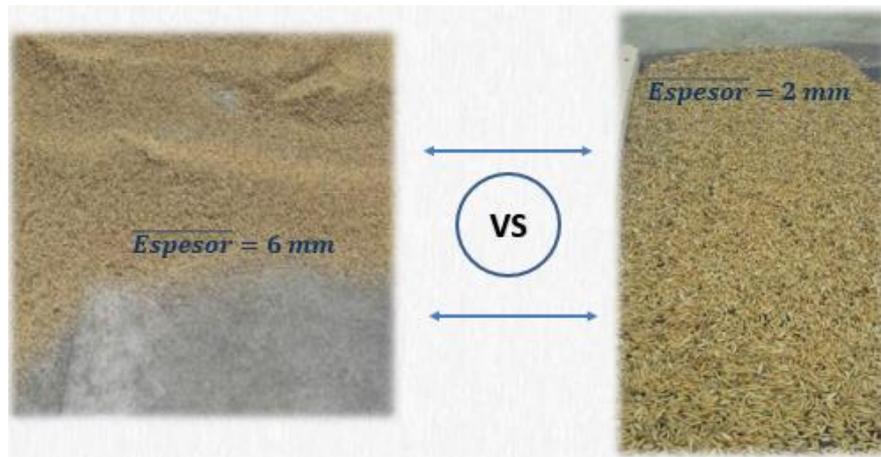


Figura 2.20 Arreglos con diferentes espesores

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como resultado se obtuvo:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	5,556	5,556	5,42	0,033
Error	16	16,389	1,024		
Total	17	21,944			

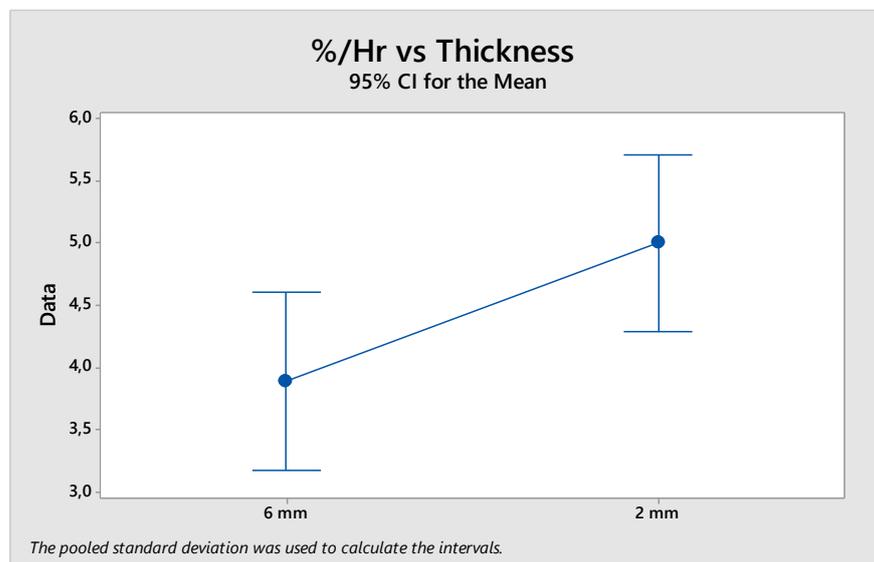


Figura 2.21 Resultado gráfico por tratamiento

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Acorde al valor p obtenido en el “Análisis de varianza” y según lo que se puede observar en la figura 2.21, sí es significativo el cambio de espesor sobre la tasa de reducción de humedad por hora, por ende, afectará el tiempo de secado.

X4: Altos niveles de impurezas

De igual manera, mediante un análisis de varianza (ANOVA) con 2 tratamientos, se determinó la significancia del factor “nivel de impurezas” sobre la germinación de la semilla.

Se implementó una prueba piloto donde se limpió mediante mallas convencionales la semilla de arroz para realizar pruebas de germinación sobre la muestra “limpia” y contrastarlas con la germinación actual como se observa en la figura 2.22.



Figura 2.22 Prueba piloto de limpieza

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como resultado se obtuvo:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	1	170,67	170,67	11,13	0,029
Error	4	61,33	15,33		
Total	5	232,00			

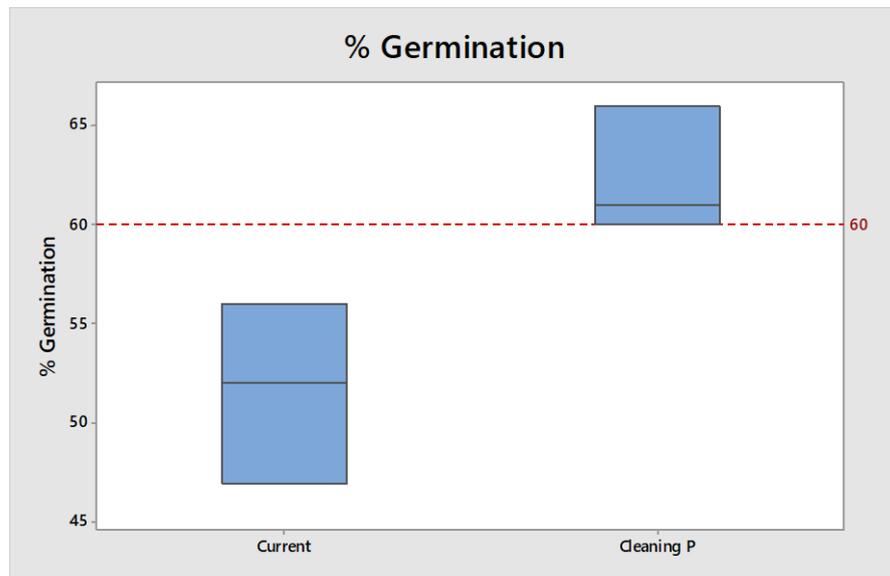


Figura 2.23 Diagrama de cajas para 2 muestras de germinación

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como se observa en la figura 2.23, el nivel de impurezas sí afecta significativamente el nivel de germinación de la semilla de arroz alcanzando un valor superior al 60% en la muestra de arroz “limpio”.

El presente análisis de germinación fue realizado por el integrante de Ingeniería Agrícola y Biológica del equipo multidisciplinario.

X5: Contenido de humedad fuera de rango

Para la verificación de la causa X5, se realiza un análisis de humedad con 3 muestras distintas:

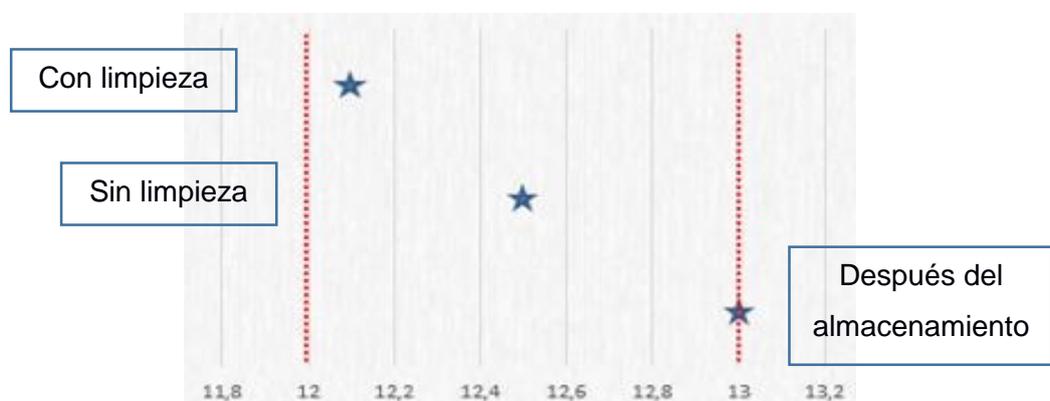


Figura 2.24 Resultado gráfico del contenido de humedad de 3 muestras

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como se observa en la figura 2.24, todas las muestras caen dentro del rango 12%-13% de humedad que es lo requerido para que sea almacenada, por ende, esta causa se descarta ya que los pequeños productores sí alcanzan la humedad requerida, pero como se observó en la verificación de la causa X3: *Altos tiempos de secado*, lo hacen en un tiempo mayor al que deberían.

Por lo tanto, se mantienen las siguientes causas para el posterior análisis de causas raíces:

- X1: *Almacenamiento en casa*
- X2: *Proceso pos-cosecha no estandarizado*
- X3: *Altos tiempos de secado*
- X4: *Altos niveles de impurezas*

2.3.4 Matriz de 5 ¿Por qué's?

A continuación, se presenta un análisis más profundo sobre cada una de las 4 causas presentadas anteriormente para determinar su causa raíz y así proponer soluciones.

En la matriz de 5 ¿Por qué's? que se muestra, se observa en sus columnas la "Causa Xi", los "¿Por qué?" de cada causa, la "Respuesta" en cada hipótesis previa que se tenga, y la "Metodología" con que se verificó la respectiva hipótesis presentada.

Al final se obtuvo la causa raíz de cada causa Xi. En la tabla 2.11 que se muestra a continuación se describe la matriz de 5 de ¿Por qué's?

Causa Xi	¿Por qué? 1		Metodología	¿Por qué? 2		Metodología	¿Por qué? 3		Metodología
X1: Almacenamiento en casa	Es inadecuado para la semilla	SI	Verificado en GEMBA	No puede mantener las condiciones necesarias para preservar su calidad	SI	Verificado en GEMBA	No puede mantener los rangos adecuados de temperatura y humedad	SI	Registro de la variación de temperatura y humedad en la zona durante 15 días. La figura 14 muestra la temperatura.
X2: Proceso pos-cosecha no estandarizado	No se conocen los indicadores vitales del proceso	SI	Entrevistas a los pequeños productores y visita al GEMBA durante la cosecha	No han sido entrenados acerca de las buenas prácticas pos-cosecha para asegurar la calidad de la semilla	SI	Encuesta escrita sobre conocimientos de prácticas pos-cosecha			
X3: Altos tiempos de secado	No esparcen el arroz uniformemente en la cancha donde lo secan	SI	Verificado en GEMBA	No conocen los niveles operacionales adecuados del proceso de secado.	SI	Entrevistas a los pequeños productores y verificación en GEMBA			
X4: Altos niveles de impurezas	El proceso no cuenta con una etapa que elimine las impurezas de la semilla	SI	Verificado en GEMBA	No se cuenta con herramientas económicas necesarias para limpiar eficientemente la semilla	SI	Entrevistas a los pequeños productores y verificación en GEMBA			

Tabla 2.11 Matriz de 5 ¿Por qué's?

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como resumen de causas raíces de la tabla 2.11, se tienen las siguientes:

1. El sistema de almacenamiento no puede asegurar las condiciones de temperatura y humedad en el rango adecuado para la calidad de la semilla.
2. Los pequeños productores no han sido capacitados sobre procesos pos-cosecha que aseguren la calidad de la semilla.
3. No se conocen los niveles operacionales adecuados del proceso de secado.
4. No cuentan con herramientas económicas necesarias para el proceso de limpieza.

2.4 Etapa de MEJORAS

Las mejoras presentadas siguieron una metodología de priorización y selección para poder ser llevadas a cabo en el proceso pos-cosecha mediante un plan de implementación.

2.4.1 Soluciones propuestas

Al ser un proyecto multidisciplinario, se presenta brevemente la propuesta de mejora del miembro de Ingeniería Mecánica del equipo, cuya selección se la realizó mediante una matriz de priorización de soluciones y está enfocada hacia la causa 1. El sistema de almacenamiento no puede asegurar las condiciones de temperatura y humedad en el rango adecuado para la calidad de la semilla.

	Criterio	Pond.	Alternativas					
			Almacenamiento en sacos		Almacenamiento al granel		Almacenamiento en bodegas	
Selección de sistema de almacenamiento	Higiene	9	M	9	B	27	R	18
	Medio ambiente	9	M	9	B	27	R	18
	Funcionamiento	8	M	8	B	24	R	16
	Costo	8	B	24	M	8	R	16
	Manufactura	7	B	21	R	14	M	7
	Mantenimiento	7	B	21	M	7	R	14
	Cliente	6	B	18	R	12	M	6
	Total	162		110		119		95
	Porcentaje			68%		73%		59%
	Porcentaje entre alternativas			92%		100%		80%

Figura 2.25 Matriz de priorización para el sistema de almacenamiento

Fuente: Xavier Mantilla

El sistema de almacenamiento seleccionado según la figura 2.25 es el siguiente:

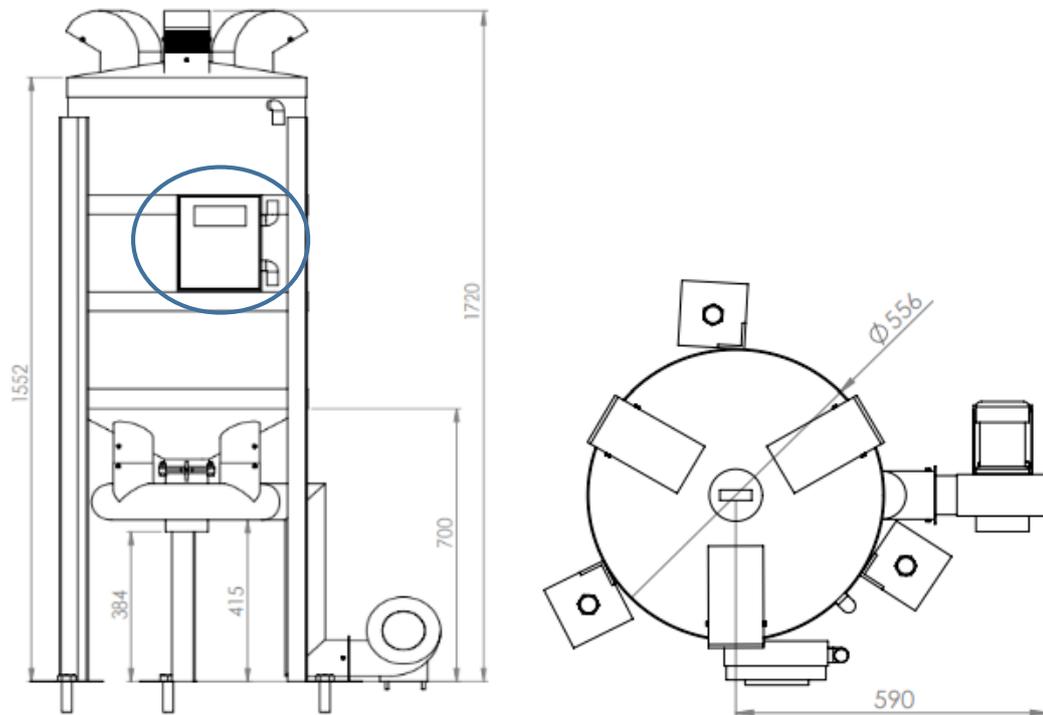


Figura 2.26 Vista frontal y superior acotada en mm del sistema de almacenamiento

Fuente: Xavier Mantilla

En la vista frontal de la figura 2.26 se puede observar que, dentro del círculo azul, se encuentra el *Cajetín* eléctrico que posee un *Micro-controlador* de temperatura de humedad conectado a un ventilador, el cual lo enciende automáticamente cuando la temperatura y/o humedad alcancen niveles no deseados para la semilla.

El silo mostrado posee una capacidad de almacenamiento de **185 libras** de semilla de arroz en cáscara.

Para profundizar más sobre el diseño y construcción del sistema de almacenamiento, se puede investigar en la fuente [16] en la parte de BIBLIOGRAFÍA del presente documento.

Para las restantes causas raíces encontradas en la sección 2.3.4 (Matriz de 5 ¿Por qué´s?) se tienen las siguientes propuestas de mejora (Tabla 2.12):

Tabla 2.12 Propuestas de Mejora para Causas raíces

CASUA RAÍZ	SOLUCIONES PROPUESTA	SÍMBOLO
Los pequeños productores no han sido capacitados sobre procesos pos-cosecha que aseguren la calidad de la semilla.	Desarrollar ayudas nemotécnicas	A
	Desarrollar talleres didácticos	B
	Contactar al Ministerio de Agricultura y Ganadería para que de asistencia a los pequeños productores.	C
No cuentan con herramientas económicas necesarias para el proceso de limpieza.	Limpieza manual clásica	D
	Diseñar y construir una zaranda manual de doble malla con tiempos de procesamiento estándar	E
	Limpieza por ventilación en altura	F
No se conocen los niveles operacionales adecuados del proceso de secado.	Desarrollar un diseño experimental para establecer niveles operacionales en el secado	G
	Adquirir maquinaria especializada en secado de granos junto con medidores de humedad	H
	Usar información secundaria para estimar el ratio de secado el grano	I

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

2.4.2 Evaluación y selección de soluciones

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

Para la evaluación de Impacto se contemplaron los siguientes criterios:

- Deseabilidad para el cliente - Sostenibilidad en el tiempo – Eficacia

Mientras que para la evaluación de costo se contempló lo siguiente:

- Costo - Tiempo de implementación - Complejidad de ejecución.

A continuación, en la figura 2.27 se muestra la matriz Impacto-Esfuerzo obtenida:

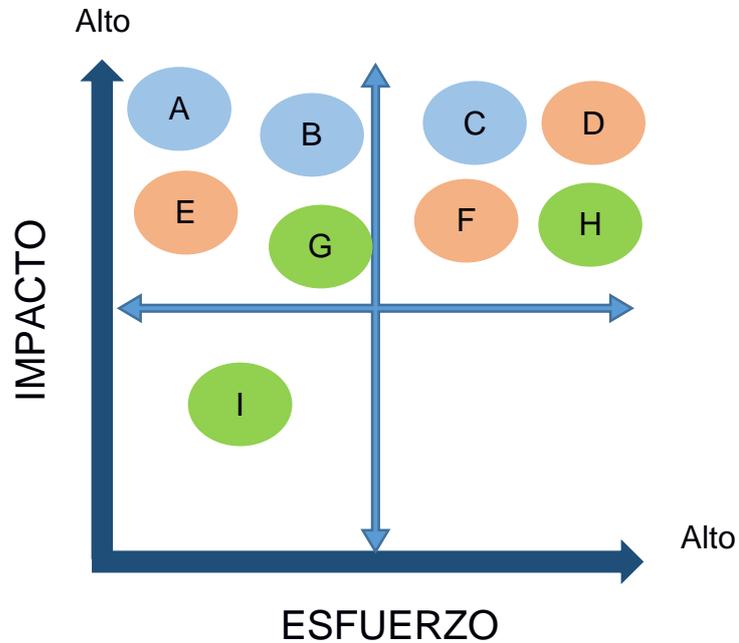


Figura 2.27 Matriz Impacto-Esfuerzo

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Según la figura 2.27, las soluciones a implementar son las siguientes:

- a. Crear ayudas nemotécnicas.
- b. Desarrollar talleres didácticos.
- c. Diseñar y construir una zaranda manual de doble malla con tiempos de procesamiento estándar.
- d. Desarrollar un diseño experimental para establecer niveles operacionales en el secado.

2.4.3 Diseño de soluciones

2.4.3.1 Creación de ayudas nemotécnicas

Se desarrolló herramientas visuales como panfletos y papelógrafos para que se pueda tener un mejor conocimiento sobre las buenas prácticas de manejo pos cosecha de la semilla.

2.4.3.2 Desarrollo de talleres didácticos

Se llevan a cabo una reunión con los miembros de la asociación para realizar talleres didácticos e ilustrativos sobre las buenas prácticas pos-cosecha y los beneficios obtenidos de estas prácticas, utilizando panfletos, trípticos e imágenes sobre la temática mencionada.

2.4.3.3 Diseño y construcción de una zaranda manual de doble malla con tiempo de procesamiento estándar

Se propone el siguiente dispositivo para uso de la asociación:



Figura 2.28 Zaranda manual de doble malla

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño elaborado en Solid-Works

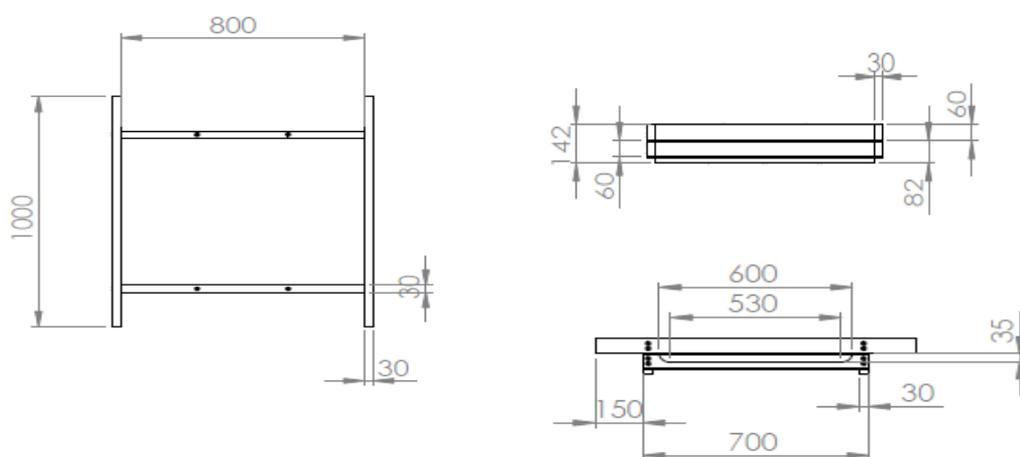


Figura 2.29 Vistas superior y laterales acotadas en mm de la zaranda manual

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño elaborado en Solid-Works

La zaranda descrita en las figuras 2.28 y 2.29 está diseñada para recibir arroz cosechado con las impurezas que normalmente conlleva, y liberarlo más “limpio” de lo que entró. Funciona con 2 personas que deben agarrarla de los extremos y sacudirla para que se filtre la semilla de arroz, liberándose de las impurezas (ver Figura 2.30).

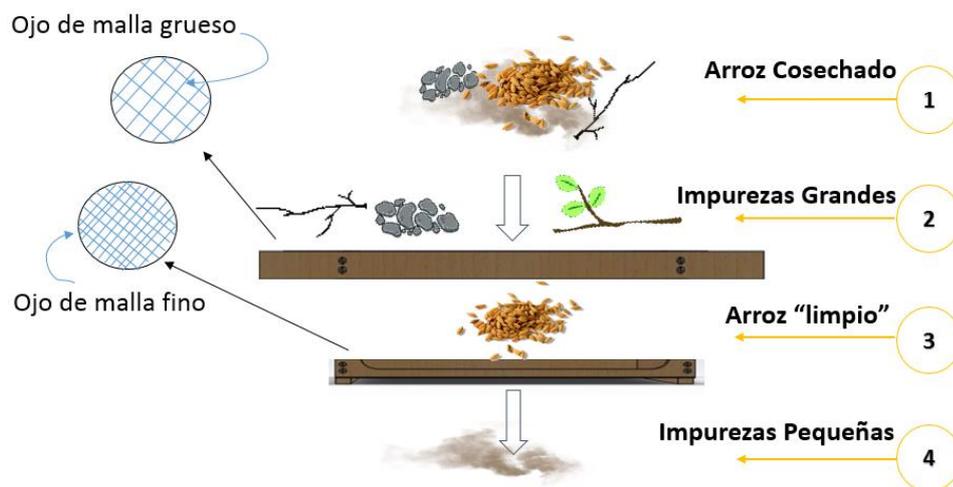


Figura 2.30 Esquema gráfico del funcionamiento de la zaranda manual

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

A partir de la figura 2.30, se observa que en la fase 1, entra arroz con impurezas, en la fase 2, el ojo de malla es lo suficientemente grueso para que pase el arroz pero que no pasen las impurezas más grandes, en la fase 3 se queda el arroz “limpio”, y finalmente en la fase 4, el ojo de malla es lo suficientemente fino para que no pase el arroz y pasen las impurezas pequeñas. Finalmente, el arroz es liberado por la ranura lateral con que cuenta la zaranda manual propuesta.

Para estandarizar el tiempo de procesamiento del dispositivo propuesto, se realizó una prueba piloto de 6 réplicas con 5 tiempos tomados en cada una para limpiar lotes de 20 libras de semilla de arroz.



Figura 2.31 Prueba piloto de la Limpieza con la zaranda manual

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

En la Tabla 2.13 se observan los datos de tiempos tomados:

Tabla 2.13 Datos de la prueba piloto para la Limpieza

MINUTOS PARA LIMPIAR 20 LIBRAS DE ARROZ					
	T1	T2	T3	T4	T5
R1	3,8	4,3	3,9	4,5	4,9
R2	4,4	4,5	4,7	4,7	5,0
R3	4,5	5,1	4,1	4,5	4,0
R4	4,0	4,3	4,4	4,5	4,5
R5	5,0	4,9	5,1	4,8	5,1
R6	4,8	4,6	4,9	4,9	4,5

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Se procede a determinar el tamaño de muestra mínimo para obtener resultados al 95% de confianza y un 5% de error:

$$\text{Tiempo promedio} = 4,58 \text{ min} \quad (2.2)$$

$$\text{Desviación estandar} = 0,36 \text{ min}$$

$$95\% \text{ de confianza: Student } - t(0,025; 29) = 2,05$$

$$\text{Error} = 5\%$$

$$n = \left(\frac{0,36 * 2,05}{0,05 * 4,6} \right)^2 = 11 \text{ tiempos}$$

Como se observa, la cantidad de datos tomados es fue mayor a lo requerido, por tanto, se puede decir que los datos son suficientes para estandarizar la capacidad de la zaranda manual propuesta.

$$\text{Tiempo observado promedio} = T_o = 4,6 \text{ min} \quad (2.3)$$

$$\text{Tiempo estandar} = T_o * (1 + \text{holgura})$$

$$\text{Holgura} = 10\%$$

$$\text{Tiempo estandar} = 4.6 \text{ min} * (1.1) = 5 \text{ min}$$

$$Capacidad = \frac{20 \text{ libras}}{5 \text{ min}}$$

$$Capacidad = 4 \frac{\text{libras}}{\text{min}}$$

Con la capacidad establecida en la zaranda manual, se puede estandarizar el tiempo del proceso de limpieza propuesto para las 185 libras de semilla que se necesitan para llenar el silo de almacenamiento de la Figura 2.26:

(2.4)

$$Tiempo \text{ de proceso neto} = \frac{\text{Requerimiento}}{\text{Capacidad del dispositivo}} = \frac{185 \text{ lb}}{4 \text{ lb/min}} = 46.25 \text{ min}$$

$$Masa \text{ cargada por persona} = \frac{(\text{masa zaranda} + \text{masa de semilla})}{2 \text{ personas}} = \frac{15 + 20}{2}$$

$$Masa \text{ cargada} = 17,5 \frac{\text{lbs}}{\text{persona}}$$

Se debe agregar un porcentaje al tiempo de procesamiento en compensación a la fatiga generada por la actividad de limpieza:

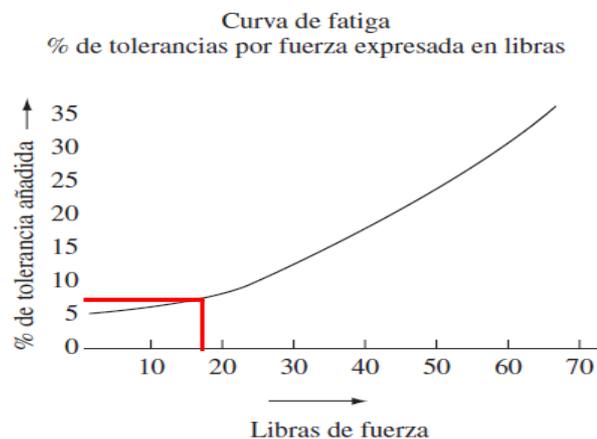


Figura 2.32 Curva de fatiga y porcentaje de tolerancias

Fuente: Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales, Meyers, Stephens, 3er Ed. Acorde a la Figura 2.32, el porcentaje de tiempo es aproximadamente el 10%, el cual se lo debe adicionar al resultado de la ecuación 2.4, por lo tanto, se tiene el siguiente tiempo estándar de limpieza:

$$Tiempo \text{ estándar de limpieza} = 51 \text{ minutos}$$

Adicionalmente se hizo un análisis ergonómico usando la evaluación *RULA* para la operación de limpieza (Ver ANEXO A) con la zaranda manual propuesta, y se obtuvo:

TABLE C (FINAL SCORE)							
Arm and Wrist	Neck, Trunk And Legs						
	1	2	3	4	5	6	+7
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	6	6	6	6	7	7	7
8	6	6	6	7	7	7	7

Score	Level of MSD Risk
1-2	negligible risk, no action required
3-4	low risk, change may be needed
5-6	medium risk, further investigation, change soon
6+	very high risk, implement change now

Figura 2.33 Resultados de la evaluación RULA de la limpieza

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como se puede ver, el resultado de la evaluación resultó positiva, ya que arrojó un valor de riesgo bajo; por ende, se puede catalogar a la limpieza como una operación segura y libre de riesgos. Finalmente, con este dispositivo propuesto se debe reducir el porcentaje de impurezas en la semilla de arroz, del 14% mostrado en la tabla 2.2, a menos del 10% como se especifica en la figura 2.9.

2.4.3.4 Desarrollo de un diseño experimental para establecer niveles operacionales en el secado

El diseño experimental desarrollado fue un diseño 3^2 , cuya variable de respuesta fue:

(2.5)

$$Y = \frac{\%humedad\ reducida}{hora}$$

Luego, los factores escogidos fueron:

$$X_1 = \text{Temperatura ambiente en } ^\circ\text{C}$$

$$X_2 = \text{Espesor de la capa de arroz esparcida en mm}$$

Los niveles en cada factor fueron:

De temperatura: 26 °C, 33 °C y 40 °C.

De espesor: 2 mm, 4 mm y 6 mm.

Cabe indicar que las temperaturas fueron las que otorgó el ambiente en el momento que se realizaba el experimento, mientras que el espesor sí fue arreglado por los autores del trabajo.

Se realizaron 3 réplicas en cada arreglo de temperatura y espesor, y mediante un medidor de humedad, se tomó el contenido de humedad de la semilla cada hora, y se determinaba la diferencia de la humedad de ese momento con la humedad inicial que tenía al momento de empezar el experimento.



Figura 2.34 Arreglo del diseño experimental con 3 espesores diferentes

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Los datos tomados del experimento se pueden observar en la tabla 2.14:

Tabla 2.14 Datos tomados del diseño experimental para el secado

		TEMPERATURA (°C)		
		26	33	40
ESPESOR (mm)	2	5 – 5,5 – 5	4 – 4,5 – 3	6,5 – 6,5 – 6
	4	4 – 4,5 – 4	5,5 – 5,5 – 5	5 – 4 – 4,5
	6	3 – 3,5 – 3	4 – 5 – 4	4 – 4,5 – 4

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Cabe mencionar que los datos tomados de diferencia de humedad, se los calculó considerando una humedad inicial del 20%, que es la que tiene la semilla de arroz al momento de ser cosechada.

Al analizar los datos tomados en un software estadístico, se obtuvo lo siguiente:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	22,574	2,8218	19,05	0,000
Linear	4	9,204	2,3009	15,53	0,000
Espesor	2	5,852	2,9259	19,75	0,000
Temperatura	2	3,352	1,6759	11,31	0,001
2-Way Interact	4	13,370	3,3426	22,56	0,000
Espesor*Temp	4	13,370	3,3426	22,56	0,000
Error	18	2,667	0,1481		
Total	26	25,241			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,384900	89,44%	84,74%	76,23%

Como se observa en la figura 2.35, los factores de Espesor y Temperatura afectan significativamente la variable de respuesta del diseño experimental, y al mismo tiempo, según el valor R-sq (R cuadrado) obtenido, la variación de la variable de respuesta está muy bien explicada por la variación de los factores.

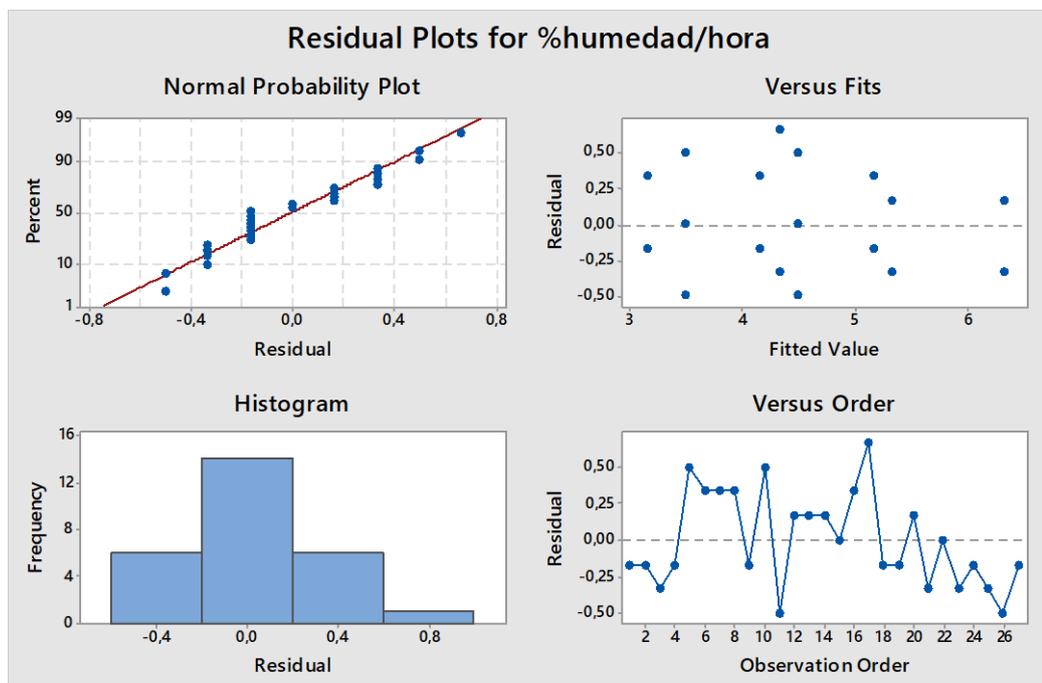


Figura 2.35 Diagrama de residuales del Diseño Experimental

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño elaborado en MiniTab

Adicionalmente se observa en la figura 2.35 que los errores siguen una distribución normal con media 0 y desviación estándar σ^2 , son constantes e independientes.

En la figura 2.36 se muestra el diagrama de interacciones:

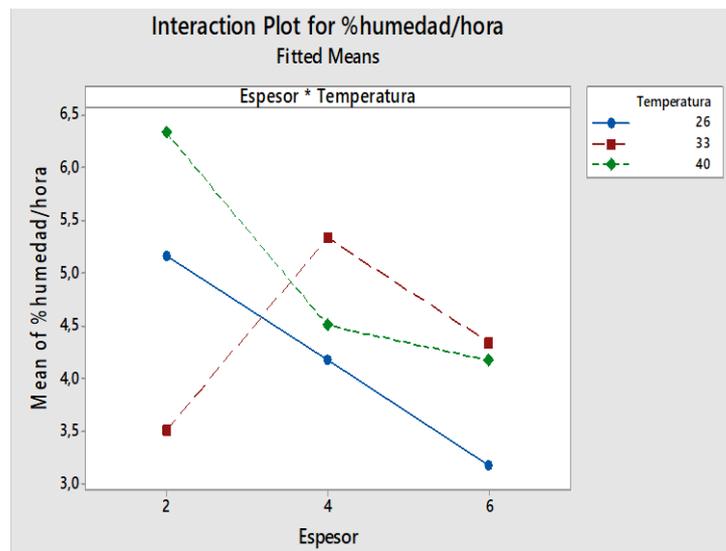


Figura 2.36 Diagrama de interacciones del Diseño Experimental

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño elaborado en MiniTab

En el diagrama de interacciones de la figura 2.36 se observa que existe una relación inversamente proporcional entre el espesor y la tasa de humedad por hora, en cambio con la temperatura es una relación directamente proporcional, aunque en este último no es tan evidente debido a los posibles errores que conlleva promediar los valores de las réplicas entre cada arreglo.

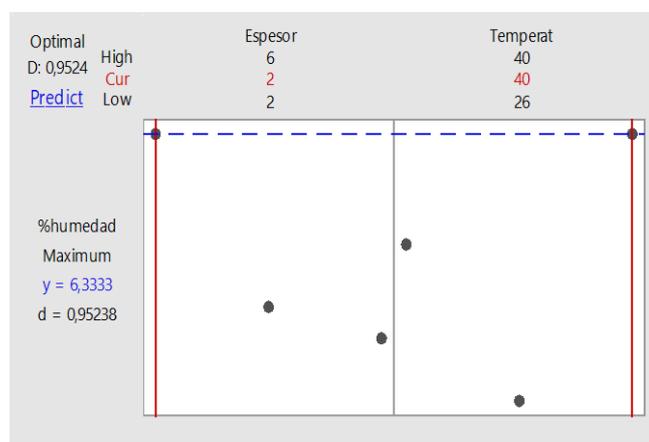


Figura 2.37 Diagrama de optimización del Diseño Experimental

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño elaborado en MiniTab

Se puede observar en la figura 2.37 que el arreglo ideal para lograr la máxima tasa de secado de 6.33% de humedad por hora, es con 2 mm de espesor y 40 °C.

Considerando que la temperatura varía a lo largo del día, se toma una tasa de secado promedio con los valores obtenidos en el diseño experimental para cada valor de temperatura a un espesor de 6 mm el cual en este será el peor de los casos:

(2.6)

$$Tasa\ promedio\ de\ secado = \frac{4,5\ \% + 4,4\ \% + 3,2\ \%}{3} \approx 4\% \frac{humedad}{hora}$$

$$Cycle\ time = \frac{Reducción\ requerida}{Tasa\ promedio\ de\ secado} = \frac{8\% \text{ humedad}}{4\% \frac{humedad}{hora}} = \mathbf{2\ horas}$$

Por lo tanto, se establece que, uniformizando la capa de arroz a 6 mm, en un día soleado, se puede lograr un tiempo de ciclo de secado que oscilaría entre 2 y 3 horas.

2.4.4 Plan de implementación de soluciones

A continuación, en las tablas 2.15, 2.16 y 2.17 se detalla el plan de implementación de cada solución:

Tabla 2.15 Plan de Implementación para soluciones 1 y 2

CAUSA: Los pequeños productores no han sido capacitados sobre procesos pos-cosecha que aseguren la calidad de la semilla.		
QUÉ?	Desarrollar ayudas nemotécnicas	Desarrollar talleres didácticos
POR QUÉ?	Los pequeños productores contarán con ayudas visuales sobre las buenas prácticas pos-cosecha	Los pequeños productores podrán entender de mejor manera la importancia del buen manejo pos-cosecha en semillas.
CÓMO?	Imprimiendo imágenes y trípticos con ilustraciones sobre prácticas pos-cosecha.	Exposiciones y actividades prácticas sobre el proceso pos-cosecha y su importancia.
DÓNDE?	Sector Paipayales	Sector Paipayales
QUIÉN?	Rafael / Ramiro	Rafael / Ramiro / Anggie / Xavier
CUÁNTO CUESTA?	\$ 5,00	\$ 15,00
CUÁNDO?	15/08/2018	15/08/2018
ESTADO	Completo	Completo

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Tabla 2.16 Plan de Implementación para Solución 3

CAUSA: No cuentan con herramientas económicas necesarias para realizar el proceso de limpieza	
QUÉ?	Diseñar y construir una zaranda manual de doble malla
POR QUÉ?	Para proveer a los pequeños productores una herramienta para obtener semilla limpia para el almacenamiento
CÓMO?	Realizar el instrumento, y con el mismo hacer una prueba piloto para estandarizar su tiempo de procesamiento.
DÓNDE?	Sector Paipayales
QUIÉN?	Rafael / Ramiro
CUÁNTO CUESTA?	\$80
CUÁNDO?	26/05/2018
ESTADO	Completo

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Tabla 2.17 Plan de Implementación para Solución 4

CAUSA: No se conocen los niveles operacionales adecuados del proceso de secado	
QUÉ?	Desarrollar un diseño experimental para establecer los niveles operacionales en el secado
POR QUÉ?	Porque los pequeños productores realizan esta operación basados en su experiencia, sin conocer los niveles operacionales adecuados.
CÓMO?	Tomando tiempos de secado con diferentes factores y niveles del diseño experimental para obtener el ratio de secado y así predecir el tiempo necesario para el secado de la semilla.
DÓNDE?	Sector Paipayales
QUIÉN?	Rafael / Ramiro
CUÁNTO CUESTA?	\$ 25,00
CUÁNDO?	07/08/2018
ESTADO	Completo

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

2.4.4.1 Implementación de soluciones

Las implementaciones se pueden evidenciar gráficamente de la Figura 2.38 hasta la figura 2.42 mostradas a continuación con su respectiva descripción:



Figura 2.38 Instalación del silo automatizado

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño



Figura 2.39 Taller sobre buenas prácticas pos-cosecha

Fuente: Gerencia de Comunicación-ESPOL



Figura 2.40 Entrega oficial y capacitación sobre uso de la zaranda manual

Fuente: Gerencia de Comunicación-ESPOL

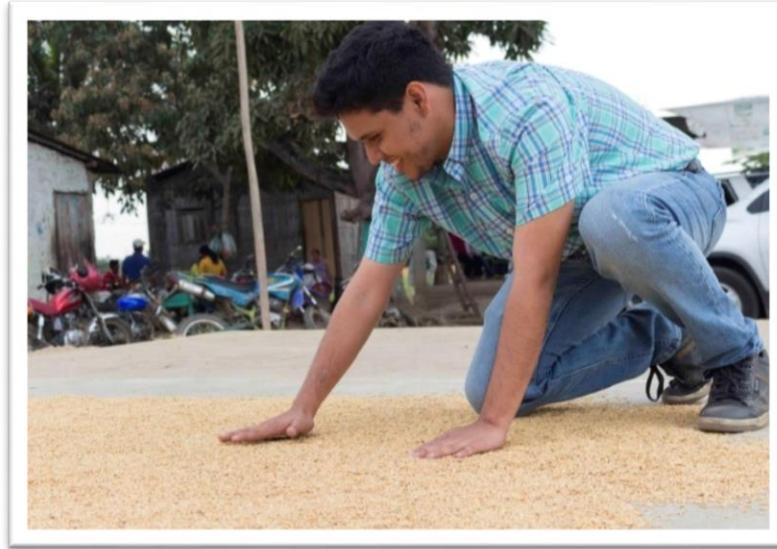


Figura 2.41 Esparcimiento de semilla de arroz acorde a los niveles operacionales obtenidos en el diseño experimental

Fuente: Gerencia de Comunicación-ESPOL

2.5 Etapa de CONTROL

Las mejoras fueron implementadas acorde a los planes de acción descritos en las Tablas 2.17, 2.16 y 2.17 de la sección 2.4.3 - Plan de implementación de soluciones.

Adicionalmente, se implementaron mecanismos para asegurar la continuidad de las mejoras en el proceso pos-cosecha.

Se realizó una reunión general con los miembros de la asociación para socializar el trabajo realizado a lo largo del periodo en que elaboró el presente proyecto e indicarles los cuidados que deben tener al momento de realizar el manejo pos-cosecha de la semilla de arroz, así como también el cuidado y funcionamiento del sistema de almacenamiento.



Figura 2.42 Charla de información a los miembros de la asociación

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño



Figura 2.43 Tróptico informativo entregado a los miembros de la asociación sobre el sistema de almacenamiento

Fuente: Xavier Mantilla

Aterrizando la presente etapa de control a las mejoras propuestas sobre el proceso pos-cosecha, se tiene lo siguiente:

Respecto al proceso de **secado**:

El agricultor deberá usar la siguiente herramienta, para asegurar la uniformidad del grano de arroz esparcido en la zona de secado.



Figura 2.44 Vistas frontal, lateral y en perspectiva del dispositivo propuesto

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño elaborado en SolidWorks

El artefacto propuesto se maneja a manera de escoba, y en la base tiene una abertura para que pase el arroz de manera uniforme, con una altura de 6 mm del suelo.



Figura 2.45 Esquema de funcionamiento del dispositivo propuesto

Fuente: Geoview.info/cuba-carretera 122-Secado del arroz en la calzada

Otro parámetro importante que considerar es la temperatura del día que se realiza la cosecha, para posteriormente realizar el secado. En este aspecto no se consideró que habrá ningún tipo de inconveniente ya que los agricultores realizan la cosecha en días soleados.

Respecto al proceso de **limpieza**:

La zaranda manual otorgada está diseñada y estandarizada para procesar 20 libras de semilla de arroz en 5 minutos, por ende, los agricultores que vayan a utilizarla deberán respetar esa capacidad, para no afectar la salud debido a un exceso de carga y también para preservar el buen estado del dispositivo.

Los agricultores cuentan con una báscula tradicional para tomar el peso del arroz cargado a la zaranda, tal como se muestra en la figura 2.46.



Figura 2.46 Esquema de toma de peso de semilla de arroz para limpieza

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño con Google imágenes

Adicionalmente, para cumplir el tiempo de 5 minutos para limpiar las 20 libras de semilla de arroz, se lo puede realizar de 2 maneras:

1. Utilizando un cronómetro que esté a la vista de los que operan el artefacto.
2. Observando la cantidad de arroz que cae a la zona de en medio del artefacto, y cuando haya caído la mayoría del arroz, detenerse y extraerlo.

En la figura 2.47 se ilustra el mecanismo de control del tiempo.

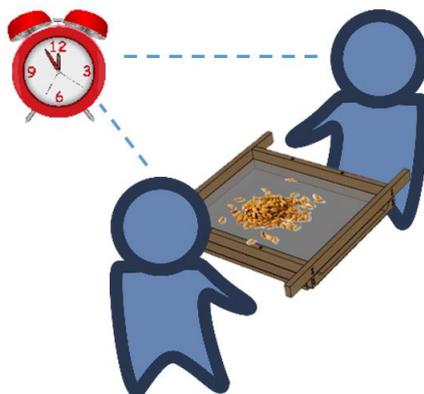


Figura 2.47 Esquema de limpieza controlado con cronómetro

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño con Google imágenes

Finalmente, se desarrolló un Plan de Control para asegurar que las diferentes soluciones implementadas sean repetibles en el tiempo por parte de los pequeños productores, en el que se especifica el tipo de control que se deberá seguir y la manera correcta de realizarlo, tal y como se describe en la tabla 2.18.

Tabla 2.18 Plan de Control para el Proceso de Secado y Limpieza

PROCESOS POS COSECHA		
¿ QUÉ?	Proceso de Secado considerando tiempo y espesor de la capa de arroz	Proceso de Limpieza con el tiempo de operación de la zaranda de doble malla estandarizado
¿POR QUÉ?	Para asegurar seguir los niveles operacionales óptimos obtenidos en el DOE.	Para limpiar la semilla de arroz y así asegurar el mínimo nivel de impurezas antes del proceso de Almacenamiento.
¿CÓMO?	Usando el dispositivo de secado, que permite esparcir uniformemente la semilla de arroz en el área de secado.	Pese 20 libras de arroz con ayuda de una balanza para asegurar que se limpie la cantidad correcta de arroz. Con respecto al tiempo de secado puede usar un cronómetro para controlarlo
¿DÓNDE?	En la área de Secado	En el área de Limpieza
¿QUIÉN?	Los pequeños Productores	Los pequeños Productores
¿CUÁNTO CUESTA?	\$ 0,00	\$ 0,00
¿CUÁNDO?	Después de Cosechar (dos veces al año).	Después de Cosechar (dos veces al año).

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados generales

Como resultado global del presente proyecto multidisciplinario, se tiene el porcentaje de germinación de la semilla de arroz seca y limpia con las mejoras propuestas en la sección anterior por los miembros de Ingeniería Industrial, almacenada dentro del sistema de almacenamiento, diseñado por el miembro de Ingeniería Mecánica, y validada mediante pruebas de germinación realizadas por el miembro de Ingeniería Agrícola y Biológica del equipo multidisciplinario.

A continuación, se muestra brevemente en la Tabla 3.1 los resultados obtenidos más relevantes por cada carrera:

Tabla 3.1 Resultados Generales del Proyecto

CARRERA	RESULTADO
Ingeniería Mecánica	Se logró diseñar un equipo de almacenamiento que restringe la migración de humedad del grano y mantiene una temperatura uniforme dentro de los rangos aceptables para el desarrollo del embrión.
Ingeniería Agrícola y Biológica	Se logró determinar los parámetros físicos (humedad y pureza), fisiológicos (germinación y vigor) y sanitarios (microorganismos) de la semilla de arroz.
Ingeniería Industrial	Se incluyó la etapa de <i>Limpieza</i> dentro del proceso pos-cosecha con el fin de asegurar un bajo nivel de impurezas (niveles aceptables) para ingresar la semilla al almacenamiento
	Se establecieron los niveles operacionales adecuados para la etapa de secado.
	Se redujo el tiempo de ciclo total de las operaciones pos-cosecha previas al almacenamiento.

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

3.2 Resultados específicos

A partir del rediseño de las operaciones de *Secado* y *Limpieza*, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Respecto al *Secado*:



Figura 3.1 Ilustración sobre la reducción del tiempo de secado

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Como se puede observar en la figura 3.1, se logró una reducción del 87.5% en el tiempo mínimo que antes destinaban para el secado del grano.

- Respecto a la *Limpieza*:

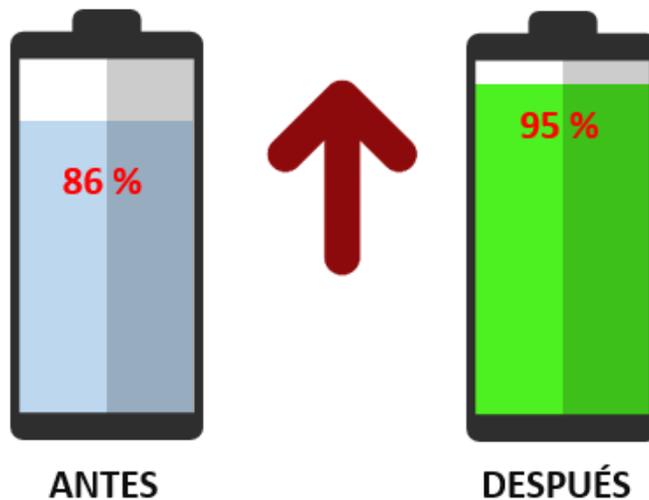


Figura 3.2 Ilustración sobre el aumento del nivel de pureza de semilla

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Acorde a la Figura 3.2, se logró un incremento del 9% en el nivel de pureza de la semilla, esto es equivalente a una reducción de igual valor de impurezas en la semilla.

También se logró una reducción en el tiempo de ciclo conjunto de las operaciones de *Secado* y *Limpieza* como se describe en la Figura 3.3:

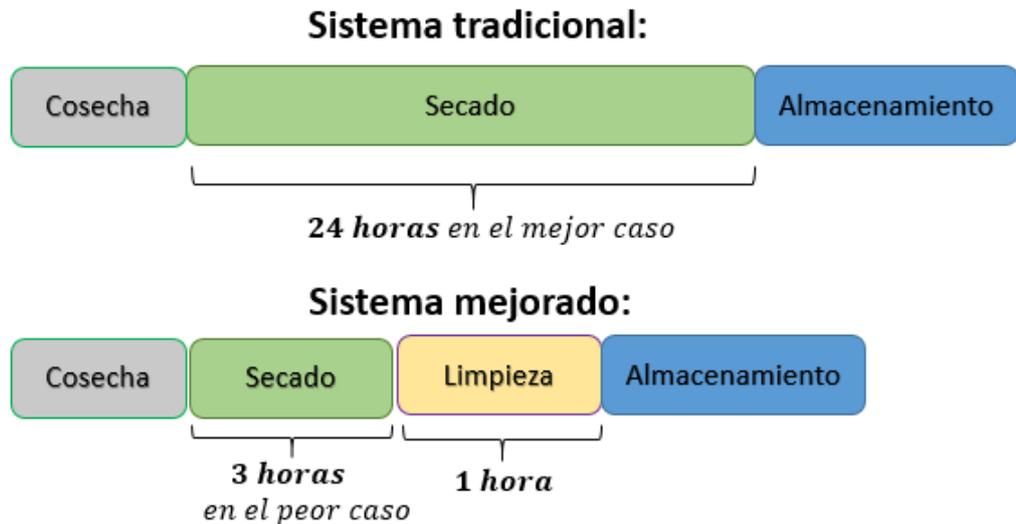


Figura 3.3 Reducción del tiempo de ciclo conjunto de Secado y Limpieza

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Se observa en la Figura 3.3, el tiempo de ciclo operacional previo al almacenamiento se reduce de 24 horas, a 3 horas incluyéndose en este nuevo escenario la etapa de Limpieza, es decir una reducción del 83% respecto al tiempo de ciclo tradicional con una nueva operación incorporada.

Finalmente, los resultados del porcentaje de germinación (la métrica global del proyecto multidisciplinario) se muestran a continuación:

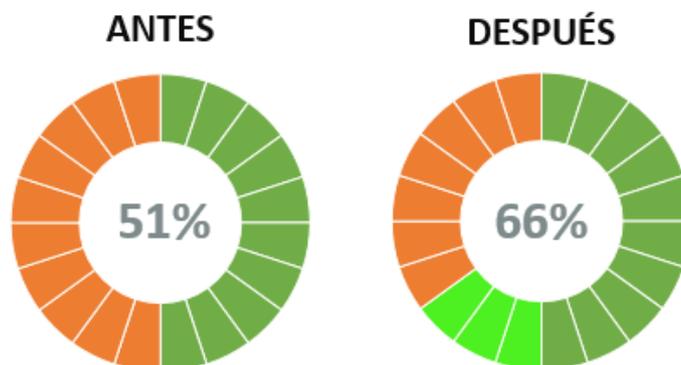


Figura 3.4 Ilustración del porcentaje de germinación

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

La Figura 3.4 muestra un resultado favorable del nivel de germinación de la semilla, ya que se ha incrementado un 15% respecto a la situación inicial.

Los datos ilustrados en las figuras 3.2 y 3.4, fueron otorgados por el miembro de Ingeniería Agrícola y Biológica del equipo multidisciplinario.

Para profundizar más sobre proceso de validación de los parámetros estudiados de la semilla de arroz, se puede investigar en la fuente [17] en la parte de BIBLIOGRAFÍA del presente documento.

3.3 Análisis de factibilidad económica

El análisis de factibilidad económica se lo realizó considerando ciertas premisas, tales como los ingresos obtenidos a partir de un aumento en la producción de arroz el cual es proporcional al aumento de la germinación (manteniéndose las mismas prácticas agrícolas en cada ciclo de siembra) declarada en la sección de Resultados, adicionalmente los únicos costos considerados son aquellos relacionados a los procesos pos-cosecha.

A continuación, se detallan los datos de ingresos y costos para el flujo de caja en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Datos de Ingresos y Costos del Proyecto

Datos	
Germinación actual	51%
Germinación Mejorada	66%
Sacos actuales	25
Sacos con mejora	32
Precio venta saco	\$ 30,00
Costo transporte por caso	\$ 0,50
Costo saco yute	\$ 1,00
Costo Energía Eléctrica	\$ 1,00
Costo Filtro de ventilador	\$ 12,00
Costo Variable	\$ 1,50
Costo Fijo	\$ 18,00

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Con el objetivo de obtener flujos anidados a la situación económica del país se consideró la tasa de Inflación, misma que se obtuvo a través del promedio de las tasas inflacionarias mensuales de los últimos 12 meses obteniendo un valor de **0,15%**; además se consideró a la Tasa Pasiva Referencial del BCE del mes de agosto del 2018 como la Tasa de Rendimiento de este proyecto con el valor de **5,25%**; sin embargo al considerarse la inflación el rendimiento real que se obtuvo es de **5,40%** calculada a partir de la ecuación 3.1:

(3.1)

$$T_{mar\ mixta} = Tasa\ de\ inflación + T_{mar} + Tasa\ de\ Inflación * T_{mar}$$

La Inversión del Proyecto consta de dos rubros, el de fabricación, compra e instalación del equipo de Almacenamiento y el de mejora de los procesos de Secado y Limpieza. A continuación, en la tabla 3.3, se presenta la Inversión del Proyecto:

Tabla 3.3 Inversión del Proyecto

Inversión	
Materiales y Construcción	\$ 1.210,00
Equipos electrónicos	\$ 126,69
Ventilador Centrífugo	\$ 440,00
Instalación y Materiales	\$ 68,13
Filtro para ventilador	\$ 12,00
Costo Total del Silo	\$ 1.856,82
Zaranda	\$ 80,00
Dispositivo Secado	\$ 25,00
Inverisión Total Proyecto	\$ 1.961,82

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño, Xavier Mantilla

La depreciación del Equipo de Almacenamiento se lo realizó de forma lineal y se consideró una vida útil de 20 años, relacionado a Silos y depósitos metálicos, según la tabla de Depreciación utilizada en España y en algunos países latinoamericanos como Chile y Bolivia.

El Capital de Trabajo descrito en la tabla 3.4, considerado como el máximo costo por periodo necesario que nuestro pequeño productor deberá poseer para solventar el proyecto previo a la obtención de Ingresos consideró los siguientes costos:

Tabla 3.4 Capital de Trabajo

Capital de Trabajo	
Energía	\$ 6,00
Transporte	\$ 16,00
Filtro para Ventilador	\$ 12,00
Saco Certificado	\$ 90,00
Saco Yute	\$ 32,00
TOTAL	\$ 156,00

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Para el pago de la Inversión se consideró la opción de crédito a un Banco Nacional, el cual otorga microcréditos a pequeños agricultores con tasa nominal anual del 11% y anualidades que dependen del ciclo de cosecha; en el caso de este proyecto se consideraron anualidades de 6 meses con el pago total de la Inversión mediante el crédito, bajo el sistema francés de amortización y un periodo total de la deuda de 5 años equivalentes a 10 semestres.

3.4 Resultados del Análisis de Factibilidad Económica

A continuación, en la figura 3.1, se describen los Resultados del Análisis de la Factibilidad Económica del Proyecto:

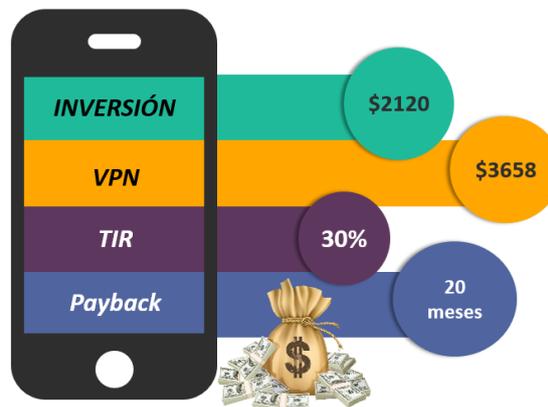


Figura 3.1 Resultados del Análisis de la Factibilidad Económica

Fuente: Rafael Andrade, Ramiro Cedeño

Con respecto a los Resultados de la Figura 3.1 se obtienen las siguientes declaraciones:

- Se obtuvo un Valor Presente Neto del Proyecto de \$3658, es decir, el proyecto a lo largo de 5 años beneficiará al pequeño agricultor en la cantidad antes detallada.
- La Tasa Interna de Retorno, el cual es la tasa de rendimiento real del proyecto es positiva y mayor a la Tmar mixta o al rendimiento esperado.
- El Payback es de 20 meses, obtenido mediante el método simple, lo que indica que a partir del vigésimo mes el proyecto ya canceló la deuda de la Inversión al banco.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinaron las necesidades de los pequeños productores mediante las herramientas VOC y CTQ.
- Se determinaron las causas raíces que merman la calidad de la semilla mediante un Diagrama de Ishikawa, Diagrama Causa-Efecto, Plan de Verificación de Causas y la Matriz 5 ¿Por qué's?
- Se rediseñó el proceso pos-cosecha actual, incluyendo la etapa de *Limpieza*.
- Se determinaron los niveles operacionales de la etapa de *Secado* mediante un diseño de experimentos de tipo 3^2 .
- Se incluyó la etapa de *Limpieza* estandarizada mediante un estudio de tiempos.
- Se diseñó un equipo de almacenamiento que restringe la migración de humedad del grano y mantiene una temperatura uniforme dentro de los rangos aceptables para el desarrollo del embrión.
- Se diseñó un sistema de ventilación automática que se enciende en horas específicas durante el día según la temperatura y humedad relativa en ese momento.
- Se analizaron los parámetros físicos (humedad y pureza), fisiológicos (germinación y vigor) y sanitarios (microorganismos) de la semilla de arroz.
- Se analizó la factibilidad económica del proyecto.
- Se mejoró la calidad de la semilla, tal como se definió al inicio del proyecto.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda seguir en marcha con el presente proyecto con el fin de incluir datos de rendimiento de sacos al momento de la cosecha y así tener una mejor información sobre el alcance de los beneficios obtenidos con las mejoras aplicadas al proceso pos-cosecha de semilla de arroz.
- Se recomienda replicar dicho modelo propuesto para otros gremios que no cuenten con los recursos económicos y técnicos para mejorar sus procesos de obtención de semilla de manera factible, viable y deseable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wikipedia. Arroz [Digital]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arroz>
- [2] Grupo SACSA (2015). ¿Qué es la pos cosecha? [Digital]. Disponible en: <http://www.gruposacsa.com.mx/que-es-la-poscosecha/> (URL)
- [3] J. Hernández y L. Puentes, “Secado” en el Manejo Pos cosecha de Granos, 1st Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- [4] J. Hernández y L. Puentes, “Limpieza” en el Manejo Pos cosecha de Granos, 1st Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- [5] J. Hernández y L. Puentes, “Selección” en el Manejo Pos cosecha de Granos, 1st Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- [6] J. Hernández y L. Puentes, “Almacenamiento” en el Manejo Pos cosecha de Granos, 1st Ed. Universidad Nacional de Colombia.
- [7] G. Carvajal, W. Valls, F. Lemoine, V. Alcívar, “Modelo de procesos” en Gestión por procesos, 1st Ed 2017. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí en conjunto con Editorial Mar Abierto.
- [8] L. Socconini, “DMAIC” en Lean Manufacturing Paso a Paso, 1st Ed 2008. Editorial Norma.
- [9] H. Gutierrez, R. De la Vara, “Herramientas básicas para Seis Sigma” en Control Estadístico de la Calidad en Seis Sigma, 2nd Ed 2009. Editorial Mc Grow Hill.
- [10] B. Niebel, A. Freivalds, “Estudio de tiempos” en Ingeniería Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo, 12nd Ed 2009. Editorial Mc Grow Hill.
- [11] B. Niebel, A. Freivalds, “Herramientas para la solución de problemas” en Ingeniería Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo, 12nd Ed 2009. Editorial Mc Grow Hill.
- [12] H. Gutierrez, R. De la Vara, “Estrategia Seis Sigma” en Control Estadístico de la Calidad en Seis Sigma, 2nd Ed 2009. Editorial Mc Grow Hill.
- [13] Mentory, Matriz de Impacto - Esfuerzo [Digital]. Disponible en: <https://mentory.online/2016/05/matriz-de-impacto-y-esfuerzo.html/> (URL)

[14] H. Gutierrez, R. De la Vara, "Herramientas básicas para Seis Sigma" en Control Estadístico de la Calidad en Seis Sigma, 2nd Ed 2009. Editorial Mc Grow Hill.

[15] D. Montgomery, "What is Experimental Design?" en Control Estadístico de la Calidad, 6th Ed 2009, Editorial Wiley.

[16] X. Mantilla, "Diseño y construcción de un sistema de almacenamiento para pequeños productores." Tesis de Pregrado, FIMCP, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2018.

[17] A. Escobar, "Diseño del proceso de validación de las mejoras propuestas en un sistema post cosecha de manejo de semilla de arroz, para pequeños productores de la Asociación "Dios con Nosotros", cantón Sta. Lucía, prov. de Guayas." Tesis de Pregrado, FCV, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2018.

ANEXOS

ANEXO A

Método RULA de análisis ergonómico para la zaranda manual de doble malla:

Step 1 : Upper Arm Position Assessment

Raised shoulder $> 25^{\circ}$ or shoulder extension: +1
 If upper arm is abducted $> 60^{\circ}$ and action > 4 /minute or more: +1
 If upper arm is abducted $> 20^{\circ}$ and posture static or action > 4 /minute: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1

Final Upper Arm Score = 1

Step 2 : Lower Arm Position Assessment

Adjust: If arm is working across midline of the body: +1
 If arm out to side of body $> 15^{\circ}$: +1

Final Lower Arm Score = 2

Step 3 : Wrist Position Assessment

Adjust: If wrist is bent from the midline $> 10^{\circ}$: +1

Final Wrist Score = 1

Step 4: Wrist Twist

If wrist is twisted mainly in mid-range $< 70^{\circ} = 1$;
 If twist at or near end of twisting range $> 70^{\circ} = 2$

Wrist Twist Score = 1

Table A:

	Upper Arm	Lower Arm	Wrist					
			1		2		3	
			Wrist twist		Wrist twist		Wrist twist	
			1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	
	2	2	2	2	2	3	3	
	3	2	3	3	3	3	3	
2	1	2	3	2	3	3	3	
	2	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	4	4	4	4	

Step 5: Look-up Posture Score in Table A

Use values from steps 1,2,3 & 4 to locate Posture Score in Table A

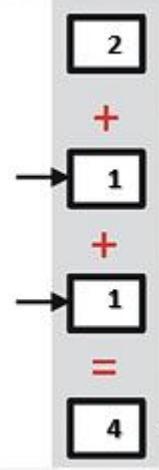
Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute)
If action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1

Step 7: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intermittent): +0; If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1; If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2; If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Step 8: Find Row in Table C



Step 9: Neck Position Assessment

Adjust: If neck is twisted > 10°: +1
If neck is side-bending > 10°: +1

1 = Final Neck Score

Step 10: Trunk Position Assessment

Adjust: If trunk is twisted > 10°: +1;
if trunk is side-bending > 10°: +1

1 = Final Trunk Score

Step 11: Legs

If legs & feet supported and balanced: +1
If not: +2

1 = Legs Score

Table B:

	Neck	Trunk							
		1		2		3		4	
		Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	3	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	2	3	4	5	5	5
3	3	3	3	3	4	4	5	5	6
4	4	5	5	5	6	6	7	7	7

- 1

+

Step 12: Look-up Posture Score in Table B

Use values from steps 9,10 & 11 to locate Posture Score in Table B
- 1

←

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static or;
If action 4/minute or more: +1
- 1

←

Step 14: Add Force/load Score

If load less than 2 kg (intermittent): +0
If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1;
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2;
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3
- 3

=

Step 15: Find Column in Table C