

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Propuesta para la optimización del proceso de cosecha y recolección de fruto de palma aceitera para la empresa ABC

Darío Regalado

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniería Industrial

Quito, Enero 2011

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACION DE TESIS

Propuesta para la optimización del proceso de cosecha y recolección de fruto de palma aceitera para la empresa ABC.

Darío Regalado

Nombre Apellido, Título
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

Nombre Apellido, Título
Miembro del Comité de Tesis

Fernando Romo, M.Sc.
Decano del Colegio Politécnico

Quito, Enero 2011

© Derechos de autor
Darío Regalado
2011

RESUMEN

La compañía ABC produce aceite crudo de palma africana y aceite de palmiste. La empresa ha determinado que su potencial productivo no se está explotado debido a la gran cantidad de racimos y frutos desprendidos que los grupos de trabajo dejan en el campo; además de la cosecha inoportuna, que han provoca la producción de racimos verdes y descompuestos.

El presente trabajo analizó dicha situación a través de herramientas de ingeniería industrial como son la diagramación de proceso, el análisis de valor y los modelos de simulación, que fueron el punto de partida para determinar la necesidad de incluir un tercer integrante en los grupos de cosecha. Esta es una alternativa económicamente viable que permitirá la recolección total de la producción de la plantación.

Además, se propone intensificar al control de calidad, actualmente realizado en las extractoras de aceite, a través de muestreo de aceptación en los puntos de cargue de las parcelas. Esto ayudará a dictaminar la calidad de cada grupo de cosecha, esta información es la base para posteriores iniciativas que reduzcan la producción de racimos verdes y podridos.

ABSTRACT

ABC produces crude palm oil and palm kernel oil. This enterprise has determined that its productive potential has not been exploited due to the large number of detached fruits and brunches left on the field. Also the untimely harvest has caused that green and decomposed clusters are being collected.

This study analyzed the process current situation through industrial engineering tools such as process mapping, value analysis and simulation models, which helped to identify the need of including a third member in the harvest team. This is an economically viable alternative that allows collecting all the plantation production.

It is also proposed to strengthen quality control, which is made in the palm oil extractor, through acceptance sampling at points of parcels loading. This will help to discriminate the quality of each harvest group; this information is the basis for further initiatives that reduce the production of rotten and green clusters.

TABLA DE CONTENIDOS

| | Pág. |
|---|------|
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2. Objetivo General | 1 |
| 1.3. Objetivo Específicos | 2 |
| 1.4. Descripción de la Empresa | 2 |
| 1.4.1. Siembra | 5 |
| 1.4.2. Mantenimiento | 5 |
| 1.4.3. Fertilización | 6 |
| 1.4.4. Polinización | 6 |
| 1.4.5. Control Fitosanitario | 6 |
| 1.4.6. Erradicación | 6 |
| 1.4.7. Resiembra | 6 |
| 1.4.8. Cosecha y Recolección de Fruto | 7 |
| 1.4.8.1. Cosecha | 7 |
| 1.4.8.2. Recolección | 8 |
| 1.5. Descripción del Problema | 8 |
| 1.6. Justificación del Proyecto | 10 |
| 1.7. Organización del Proyecto | 11 |
| 2. MARCO TEORICO | 13 |
| 2.1. Diagramación de Procesos | 13 |
| 2.1.1. Diagrama de Flujo de Proceso | 13 |
| 2.1.2. Metodología para la Toma de Tiempos | 14 |
| 2.1.2.1. Método de Registros Históricos | 14 |
| 2.1.2.2. Método de Medición del Trabajo | 15 |
| 2.1.2.3. Recomendaciones para el Estudio de Tiempos | 15 |
| 2.1.3. Análisis de Valor Agregado (AVA) | 16 |
| 2.2. Simulación | 17 |
| 2.2.1. Tipos de Simulación | 18 |
| 2.2.2. Etapas de un Estudio de Simulación | 19 |
| 2.2.2.1. Definición del Sistema | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.2.2. Formulación del Modelo | 19 |
| 2.2.2.3. Recolección de Datos | 19 |
| 2.2.2.4. Implementación del Modelo en la Computadora | 20 |
| 2.2.2.5. Verificación | 20 |
| 2.2.2.6. Validación | 20 |
| 2.2.2.7. Experimentación | 21 |
| 2.2.2.8. Interpretación | 22 |
| 2.2.3. Herramientas de Simulación | 22 |
| 2.2.4. Simulación en ARENA | 22 |
| 2.2.5. Elementos Básicos de la Simulación | 23 |
| 2.2.5.1. Entidades | 23 |
| 2.2.5.2. Variables Globales | 23 |
| 2.2.5.3. Colas | 23 |
| 2.2.5.4. Recursos | 23 |
| 2.2.5.5. Acumuladores Estadísticos | 24 |
| 2.2.5.6. Eventos | 24 |
| 2.2.5.7. Reloj de la Simulación | 24 |
| 2.2.6. Módulos de ARENA | 24 |
| 2.2.6.1. Decide | 25 |
| 2.2.6.2. Assign | 26 |
| 2.2.6.3. Process | 26 |
| 2.2.6.4. Create | 26 |
| 2.2.6.5. Dispose | 26 |
| 2.2.7. Análisis de Datos de Entrada | 26 |
| 2.2.8. Pruebas de Ajuste de Distribuciones Estadísticas | 27 |
| 2.3. Mejoramiento de la Calidad | 28 |
| 2.3.1. Métodos Estadísticos de Control y Mejoramiento de Calidad | 29 |
| 2.3.2. Muestreo de Aceptación | 29 |
| 2.3.3. Plan de Muestreo por Atributos | 30 |
| 2.3.4. Plan de Muestreo Único | 30 |
| 2.3.5. Curvas OC | 30 |
| 2.3.6. Nivel de Calidad Aceptable | 31 |

| | |
|--|----|
| 2.3.7. Military Standard 105E (ANSI/ASQC Z1.4, ISO 2856) | 31 |
| 2.4. Análisis Económico de Proyectos | 32 |
| 2.4.1. Análisis de Costo/Beneficio | 33 |
| 3. DESCRIPCION DEL PROCESO ACTUAL DE COSECHA Y RECOLECCION DE FRUTO | 35 |
| 3.1. Recursos Utilizados en el Proceso | 35 |
| 3.2. Diagramación del Proceso | 36 |
| 3.3. Análisis de Valor Agregado del Proceso | 38 |
| 3.4. Determinación de Distribuciones de Tiempo | 40 |
| 3.4.1. Tamaño de muestra | 41 |
| 3.4.2. Método de Medición de Tiempos | 41 |
| 3.4.3. Método para Garantizar la Aleatoriedad de la Muestra | 42 |
| 3.4.4. Distribuciones del Cosechador utilizando Malayo | 43 |
| 3.4.4.1. Caminar entre Palmeras..... | 43 |
| 3.4.4.2. Identificar los Racimos Maduros..... | 43 |
| 3.4.4.3. Cortar los Racimos Maduros..... | 44 |
| 3.4.4.4. Retirar las Hojas Cortadas..... | 45 |
| 3.4.5. Distribuciones del Cosechador utilizando Podón/Palilla | 45 |
| 3.4.5.1. Caminar entre Palmeras..... | 46 |
| 3.4.5.2. Identificar los Racimos Maduros..... | 46 |
| 3.4.5.3. Cortar los Racimos Maduros..... | 47 |
| 3.4.5.4. Retirar las Hojas Cortadas..... | 47 |
| 3.4.6. Distribuciones del Recolector utilizando Burro | 48 |
| 3.4.6.1. Caminar entre Palmeras..... | 48 |
| 3.4.6.2. Alzar los Racimos..... | 49 |
| 3.4.6.3. Recoger los Frutos Suelos..... | 49 |
| 3.4.7. Distribuciones del Recolector utilizando Búfalo | 50 |
| 3.4.7.1. Caminar entre Palmeras..... | 51 |
| 3.4.7.2. Alzar los Racimos..... | 51 |
| 3.4.7.3. Recoger los Frutos Suelos..... | 52 |
| 3.4.7.4. Transportar los Racimos al Tambo..... | 53 |
| 3.4.8. Distribución del Número de Racimos por Palma | 53 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5. Simulación del Proceso Actual de Recolección y Cosecha de Fruto | 54 |
| 3.5.1. Modelo de Simulación | 54 |
| 3.5.1.1. Personal Cosecha | 56 |
| 3.5.1.2. Creación de Palmas | 56 |
| 3.5.1.3. Cosechador y Palma | 57 |
| 3.5.1.4. Batch | 58 |
| 3.5.1.5. Caminar entre las Palmeras Cortador | 59 |
| 3.5.1.6. Palmas sin Racimo | 61 |
| 3.5.1.7. Separate | 61 |
| 3.5.1.8. Separa Palmas del Cosechador1 | 62 |
| 3.5.1.9. Palmas Vacías | 64 |
| 3.5.1.10. # de Racimos por Palma | 64 |
| 3.5.1.11. Asigna Racimos | 65 |
| 3.5.1.12. Reconocer los Racimos Maduros | 66 |
| 3.5.1.13. Cortar Racimos | 67 |
| 3.5.1.14. Retirar las Hojas Cortadas | 68 |
| 3.5.1.15. Terminó de Cosechar la Palma | 69 |
| 3.5.1.16. Personal Recolección | 70 |
| 3.5.1.17. Caminar Entre las Palmas Recolector | 71 |
| 3.5.1.18. Alzar los Racimos Maduros | 72 |
| 3.5.1.19. Recoger Frutos Suelos | 73 |
| 3.5.1.20. Llenar la Canastilla/Carreta | 74 |
| 3.5.1.21. Canastilla Llena | 75 |
| 3.5.1.22. Salir al Tambo | 76 |
| 3.5.1.23. Record | 78 |
| 3.5.2. Longitud de la Corrida | 79 |
| 3.5.3. Número de Réplicas | 79 |
| 3.5.4. Análisis de los Resultados de la Simulación | 81 |
| 3.5.4.1. Cosechador utilizando Malayo y Recolector utilizando Burro (palmas mayores a los 10 años) | 81 |
| 3.5.4.2. Cosechador utilizando Malayo y Recolector utilizando Búfalo (palmas mayores a los 10 años) | 82 |

| | |
|--|------------|
| 3.5.4.3. Cosechador utilizando Palilla/Podón y recolector utilizando Burro (palmas menores a los 10 años) | 83 |
| 4. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE COSECHA Y RECOLECCION DE FRUTO | 84 |
| 4.1. Identificación de la Propuesta de Mejora | 84 |
| 4.2. Evaluación de la Propuesta de Mejora | 87 |
| 4.2.1. Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora | 87 |
| 4.2.1.1. Racimos y Fruto Suelto | 90 |
| 4.2.1.2. Asigna Fruto Suelto | 91 |
| 4.2.1.3. Personal Recolección | 91 |
| 4.2.1.4. Caminar Entre las Palmas Recolector | 92 |
| 4.2.1.5. Cosechador y Palma | 93 |
| 4.2.1.6. Batch 5 | 94 |
| 4.2.1.7. Recoger Frutos Suelos | 95 |
| 4.2.1.8. Separate 7 | 96 |
| 4.2.1.9. Separa Fruto Suelto del Recolector | 96 |
| 4.2.1.10. # de Grupos de Fruto Suelto Recolectados | 97 |
| 4.2.1.11. Transporte de Fruto Suelto a la Extractora | 98 |
| 4.2.2. Análisis de Resultados de la Simulación de la Propuesta de Mejora | 98 |
| 4.2.2.1. Cosechador utilizando Malayo y Recolector utilizando Burro (palmas mayores a los 10 años) | 98 |
| 4.2.2.2. Cosechador utilizando Malayo y Recolector utilizando Búfalo (palmas mayores a los 10 años) | 99 |
| 4.2.2.3. Cosechador utilizando Palilla/Podón y recolector utilizando Burro (palmas menores a los 10 años) | 100 |
| 4.3. Análisis de Factibilidad Financiera de la Propuesta de Mejora | 101 |
| 4.3.1. Costos de la Propuesta de Mejora | 102 |
| 4.3.2. Beneficios de la Propuesta de Mejora | 104 |
| 4.3.3. Periodo de Duración del Proyecto | 105 |
| 4.3.4. Tasa de Descuento (Costo de Oportunidad) | 105 |
| 4.3.5. Análisis de Costo/Beneficio de la Propuesta de Mejora | 106 |

| | |
|--|-------------------------------|
| 4.4. Propuesta para el Control de la Calidad de Fruta | 107 |
| 4.4.1. Análisis del Control Actual de la Calidad de la Fruta | 108 |
| 4.4.2. Propuesta de Control de Calidad del Fruto | 109 |
| 4.4.3. Determinación de los Parámetros del Plan de Muestreo de Aceptación | 109 |
| 4.4.3.1. Elección del AQL Nivel de Calidad Aceptable | 110 |
| 4.4.3.2. Elección del Nivel de Inspección..... | 110 |
| 4.4.3.3. Determinación del Tamaño de Lote..... | 111 |
| 4.4.3.4. Determinación del Tipo Apropriado de Plan de Muestreo..... | 113 |
| 4.4.3.5. Elección del Plan de Muestreo Normal, Reducido y Riguroso.. | 113 |
| 4.4.4. Plan de Muestreo de Aceptación | 114 |
| 4.4.4.1. Formato para la Aplicación del Plan de Muestreo..... | 115 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 118 |
| 5.1. Conclusiones | 118 |
| 5.2. Recomendaciones | 119 |
| BIBLIOGRAFÍA | 121 |
| ANEXOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| Anexo A. Caminar entre Palmas/Cortador con Malayo ¡Error! Marcador no definido. | |
| A.1. Tabla de Datos | ¡Error! Marcador no definido. |
| A.2. Resultados Input Analyzer | ¡Error! Marcador no definido. |
| Anexo B. Identificar los Racimos Maduros/Cortador Con Malayo ¡Error! | |
| Marcador no definido. | |
| B.1. Tabla de Datos | ¡Error! Marcador no definido. |
| B.2. Resultados Input Analyzer | ¡Error! Marcador no definido. |
| B.3. Resultados Input Analyzer Distribución Empírica ¡Error! Marcador no definido. | |
| Anexo C. Cortar los Racimos Maduros/Cortador Con Malayo ¡Error! Marcador no definido. | |
| C.1. Tabla de Datos | ¡Error! Marcador no definido. |
| C.2. Resultados Input Analyzer | ¡Error! Marcador no definido. |

Anexo D. Retirar Hojas Cortadas/Cortador Con Malayo;Error! Marcador no definido.

D.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

D.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

Anexo E. Caminar entre Palmas/Cortador con Podón/Palilla;Error! Marcador no definido.

E.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

E.2. Resultados Input Analyzer.....;Error! Marcador no definido.

Anexo F. Identificar los Racimos Maduros/Cortador con Podón/Palilla ;Error! Marcador no definido.

F.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

F.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

Anexo G. Cortar Racimos Maduros/Cortador con Podón/Palilla ;Error! Marcador no definido.

G.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

G.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

G.3. Resultados Input Analyzer Distribución Empírica;Error! Marcador no definido.

Anexo H. Retirar Hojas/Cortador con Podón/Palilla;Error! Marcador no definido.

H.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

H.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

Anexo I. Caminar entre Palmas/Recolector con Burro;Error! Marcador no definido.

I.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

I.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

Anexo J. Alzar los Racimos/Recolector con Burro;Error! Marcador no definido.

J.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

J.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

J.3. Resultados Input Analyzer Distribución Empírica;Error! Marcador no definido.

Anexo K. Recoger los Frutos Suelos /Recolector con Burro;Error! Marcador no definido.

K.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

K.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

K.3. Resultados Input Analyzer Distribución Empírica;Error! Marcador no definido.

Anexo L. Caminar entre Palmas/Recolector con Búfalo;Error! Marcador no definido.

L.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

L.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

L.3. Resultados Input Analyzer Distribución Empírica;Error! Marcador no definido.

Anexo M. Alzar los Racimos/Recolector con Búfalo;Error! Marcador no definido.

M.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

M.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

M.3. Resultados Input Analyzer Distribución Empírica;Error! Marcador no definido.

Anexo N. Recoger los Frutos Suelos /Recolector con Búfalo;Error! Marcador no definido.

N.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

N.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

N.3. Resultados Input Analyzer Distribución Empírica;Error! Marcador no definido.

Anexo O. Transportar los Racimos al Tambo;Error! Marcador no definido.

O.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

O.2. Resultados Input Analyzer;Error! Marcador no definido.

Anexo P. # de Racimos por Palmera;Error! Marcador no definido.

P.1. Tabla de Datos;Error! Marcador no definido.

Anexo Q. # de Racimos Por Viaje Palmas Menores a 10 años;Error! Marcador no definido.

Anexo R. # de Racimos Por Viaje Palmas Mayores a 10 años;Error! Marcador no definido.

Anexo S. Resultados Simulación Malayo Burro;Error! Marcador no definido.

Anexo T. Resultados Simulación Malayo Búfalo...;Error! Marcador no definido.

Anexo U. Resultados Simulación Palilla/Podón Burro;Error! Marcador no definido.

Anexo V. Modelo de Simulación de la Alternativa de Mejora;Error! Marcador no definido.

Anexo W. Resultados Simulación Malayo Burro de la Propuesta ;Error! Marcador no definido.

Anexo X. Resultados Simulación Malayo Búfalo de la Propuesta..... ;Error! Marcador no definido.

Anexo Y. Resultados Simulación Palilla/Podón Burro de la Propuesta. ;Error! Marcador no definido.

Anexo Z. # de Racimos Por Tambo.;Error! Marcador no definido.

Anexo AA. Letras de Código para el Tamaño de la Muestra (MIL STD 105E, tabla I);Error! Marcador no definido.

Anexo AB. Tablas Maestras para el Muestreo Único (MIL STD 105E, tabla II-A,II-B, II-C).....;Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

| Figura | | Pág. |
|------------|--|------|
| Figura 1. | Vista Aérea de Plantación de Shushufindi. | 2 |
| Figura 2. | Fruto de palma híbrida. | 3 |
| Figura 3. | Vivero de Plantas. | 4 |
| Figura 4. | Planta Extractora de Quinindé. | 5 |
| Figura 5. | Cosechador/ Proceso de Cosecha y Recolección. | 7 |
| Figura 6. | Recolector/ Proceso de Cosecha y Recolección. | 8 |
| Figura 7. | Precio de la Tonelada de Aceite Rojo. | 10 |
| Figura 8. | Formato del Diagrama de Flujo de Procesos. | 14 |
| Figura 9. | Esquema para diferenciar actividades que agregan valor. | 17 |
| Figura 10. | Pantalla Principal Software Arena. | 25 |
| Figura 11. | Curva OC ideal. | 31 |
| Figura 12. | Flujograma del Proceso de Cosecha y Recolección del fruto. | 36 |
| Figura 13. | Análisis de Valor del Proceso de Cosecha y Recolección del fruto. | 38 |
| Figura 14. | Modelo de Simulación del Proceso de Recolección y Cosecha de Fruto. | 54 |
| Figura 15. | Módulo Personal Cosecha. | 56 |
| Figura 16. | Módulo Creación Palmas. | 57 |
| Figura 17. | Módulo Cosechador y Palma. | 57 |
| Figura 18. | Módulo Batch. | 59 |
| Figura 19. | Módulo Caminar entre las Palmeras Cortador. | 60 |
| Figura 20. | Módulo Palmas sin Racimo. | 61 |
| Figura 21. | Módulo Separate 1. | 62 |
| Figura 22. | Módulo Separa Palmas del Cosechador 1. | 63 |
| Figura 23. | Módulo Transporte a la Extractora. | 64 |
| Figura 24. | Módulo # de Racimos Por Palma. | 65 |
| Figura 25. | Módulo Asigna Racimos. | 65 |
| Figura 26. | Módulo Reconocer Racimos Maduros. | 66 |
| Figura 27. | Módulo Cortar Racimos. | 67 |
| Figura 28. | Módulo Retirar Hojas. | 68 |
| Figura 29. | Módulo Terminó de cosechar la Palma. | 70 |
| Figura 30. | Módulo Personal Recolección. | 70 |
| Figura 31. | Módulo Caminar entre las Palmeras Recolector. | 71 |
| Figura 32. | Módulo Alzar Racimos. | 72 |
| Figura 33. | Módulo Recoger Frutos Suelos. | 73 |
| Figura 34. | Módulo Llenando Canastilla para Recolector con Búfalo. | 75 |
| Figura 35. | Módulo Canastilla Llena. | 76 |
| Figura 36. | Módulo Salir al Tambo. | 77 |
| Figura 37. | Módulo Record # de Racimos Transportados. | 78 |
| Figura 38. | Módulo Stastic de Arena. | 80 |
| Figura 39. | Flujograma la propuesta de mejora del Proceso de Cosecha y Recolección del fruto. | 85 |
| Figura 40. | Simulación de la Propuesta de Mejora. | 88 |
| Figura 41. | Módulo Racimos y Fruto Suelto. | 90 |
| Figura 42. | Módulo Asigna Fruto Suelto. | 91 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Figura 43. | Módulo Personal Recolección | 92 |
| Figura 44. | Módulo Caminar entre las Palmeras Recolector de Fruto Suelto..... | 93 |
| Figura 45. | Módulo Recolector y Fruto Suelto..... | 94 |
| Figura 46. | Módulo Batch 5. | 94 |
| Figura 47. | Módulo Recoger Frutos Suelos..... | 95 |
| Figura 48. | Módulo Separate 7 | 96 |
| Figura 49. | Módulo Separa Fruto Suelto del Recolector | 97 |
| Figura 50. | Módulo # de Grupos de Fruto Suelto Recolectados..... | 97 |
| Figura 51. | Módulo Transporte de Fruto Suelto a la Extractora | 98 |
| Figura 52. | Distribución Física de Cada Parcela..... | 111 |
| Figura 53. | Análisis de Datos del Número de Racimos por Tambo..... | 112 |
| Figura 54. | Reglas para Cambiar de Plan de Muestreo (MIL STD 105E). | 114 |
| Figura 55. | Formato para el Control de Calidad en Tambo. | 116 |

LISTA DE TABLAS

| Tabla | | Pág. |
|----------|---|------|
| Tabla 1. | Simbología del Flujograma..... | 13 |
| Tabla 2. | Herramientas del Proceso de Recolección y Cosecha. | 36 |
| Tabla 3. | Distribución del # de racimos por palmera. | 54 |
| Tabla 4. | Diferencia entre los Racimos Cosechados y Recolectados | 80 |
| Tabla 5. | Costo Mensual Total Por Trabajador..... | 103 |
| Tabla 6. | Variación del Salario Básico Unificado..... | 104 |
| Tabla 7. | Determinación del Valor Presente de los Costos y los Beneficios. | 106 |
| Tabla 8. | Nivel de Calidad Aceptable | 110 |
| Tabla 9. | Plan de Muestreo de Aceptación en Tambo | 115 |

PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACION DEL PROCESO DE COSECHA Y RECOLECCION DE FRUTO DE PALMA ACEITERA DE LA EMPRESA ABC.

1. ANTECEDENTES

1.1. Introducción

ABC es una empresa que se dedica a la producción de aceite rojo de palma africana y aceite de palmiste. La compañía ha encontrado que su potencial productivo no está siendo aprovechado, debido a la gran cantidad de racimos verdes y descompuestos actualmente cosechados; además de racimos y frutos desprendidos que los obreros dejan en el campo.

El presente trabajo analiza el proceso de cosecha y recolección de frutos a través de herramientas de ingeniería industrial como diagramas de flujo, análisis de valor y modelos de simulación, con el fin proponer una solución, económicamente viable, que permita recolectar toda la producción de la plantación.

Además, presenta una alternativa para el control de calidad de la cosecha, que permitirá obtener información sobre la cantidad de racimos verdes y podridos que actualmente son recolectados por cada grupo de trabajo. Esta es la base para posteriores iniciativas que reduzcan las pérdidas de la empresa debido a la cosecha a destiempo.

1.2. Objetivo General

Diseñar una propuesta de mejoramiento del proceso de cosecha y recolección de fruto, que le permita a la empresa maximizar la cantidad de fruto maduro que obtiene de las plantaciones.

1.3. Objetivo Específicos

- Diagramar el flujo del proceso de recolección y cosecha de fruto.
- Medir las distribuciones de tiempo para las diferentes actividades del proceso de cosecha y recolección de fruto.
- Simular el proceso de cosecha y recolección de fruto con el fin de determinar los recursos óptimos que se necesiten, así como el método más efectivo para maximizar la cantidad de fruto maduro que se cosecha.
- Determinar los recursos que deben intervenir en el proceso de recolección y cosecha de fruto.
- Diseñar un sistema de control de calidad que permita a los supervisores conocer la cantidad de fruto maduro que cada grupo de cosecha recolectó.

1.4. Descripción de la Empresa

ABC es parte de la división agrícola de un grupo agroindustrial, el cual consta de tres plantaciones ubicadas en San Lorenzo, Quinindé y Shushufindi. Actualmente la división agrícola consta de cerca de 27.000 hectáreas, divididas casi equitativamente entre las tres plantaciones.



Fuente: Página Web ABC

Figura 1. Vista Aérea de Plantación de Shushufindi.

XXXXX, que fue la primera plantación de esta división, fundada en 1974, tiene un área total de 5.335 hectáreas brutas, y 4.450 hectáreas netas. De las cuales un 20% todavía se mantiene desde el inicio de operación y un 80% ha sido resembrado. La superficie total no es un sólo bloque sino que se divide en dos grandes zonas separadas. La primera de estas zonas constituye un tercio de la superficie total y se la conoce como la división 1; la segunda de estas zonas alberga a la división 2 y 3 cada una con un tercio de la superficie total.

Cada una de las divisiones mantiene palmas de dos variedades diferentes: Palma Africana (ELAEIS GUINEENSIS), Palma Híbrida (ELAEIS GUINEENSIS y ELAEIS OLEIFERA), las cuales se diferencian por su resistencia a las enfermedades, capacidad productiva, y crecimiento anual. Durante los últimos años, la empresa ha decidido aumentar la cantidad de palma híbrida sembrada, sin embargo, todavía se mantiene grandes zonas de palma africana hasta que sean erradicadas ya que su gran tamaño impide la cosecha, o por la proliferación de enfermedades.



Fuente: Página Web XXXXX

Figura 2. Fruto de Palma Híbrida.

Como resultado dentro de cada cultivo se mantiene palmas de distintas edades: 3.323 hectáreas en su etapa productiva (generalmente desde los tres

años de edad hasta los 25 años) y otras 1.126 hectáreas en proceso de crecimiento.

ABC además de la propia plantación tiene dentro de su superficie:

- Una germinadora que es la encargada de madurar a las semillas para que estén listas para ser sembradas en el pre-vivero de la empresa o para la venta a sus clientes.

- Un pre-vivero que tiene objetivo el mantener condiciones ideales para el crecimiento de las plantas sembradas durante los tres primeros meses de vida.

- Un vivero donde las plantas crecen hasta el año de vida, cuando están listas para ser sembradas en un lugar definitivo o para ser vendidas a clientes de la zona.



Fuente: Página Web ABC

Figura 3. Vivero de Plantas.

- Una planta extractora que es la encargada de procesar los frutos de la palma con el fin de obtener los productos que la empresa comercializa: aceite rojo, aceite de palmiste y torta de palmiste.



Fuente: Página Web ABC.

Figura 4. Planta Extractora de Quinindé.

Dentro de la plantación ocurren los siguientes procesos agrícolas:

1.4.1. Siembra

Consiste en la siembra de las plantas en su ubicación definitiva, actualmente se ha decidido la siembra de palmeras híbridas debido su tolerancia a enfermedades, principalmente a la pudrición de cogollo PC, para la cual no se tiene una cura ni se conocen los vectores.

1.4.2. Mantenimiento

Consiste en asegurar buenas condiciones: para el desarrollo de la planta; para la cosecha eficiente; para el transporte de fruta; para la prevención de enfermedades. Este es el proceso que más personal emplea de la plantación.

1.4.3. Fertilización

Consiste en mejorar las condiciones del suelo donde la palma se desarrolla. Para esto se utiliza tanto fertilizantes sintéticos como naturales, entre los que se destaca la aplicación de raquis o los racimos sin fruta, que se desechan después del proceso de extracción de aceite.

1.4.4. Polinización

Consiste en fecundar las flores femeninas de la planta mediante el uso de insectos o la intervención humana con el fin obtener la mayor cantidad de fruto. La palma africana necesita de la intervención humana durante los primeros tres años de producción, después de los cuales los insectos son autosuficientes para polinizar todas las flores femeninas. Mientras que la palma híbrida necesita de la intervención humana durante toda su vida.

1.4.5. Control Fitosanitario

Busca prevenir el apareamiento y desarrollo de plagas y enfermedades de la palma aceitera, además de alertar rápidamente sobre plantas que deben ser erradicadas.

1.4.6. Erradicación

Consiste en la eliminación de las plantas infectadas con enfermedades que, además de ser incurables, pueden proliferar al resto de la plantación.

1.4.7. Resiembra

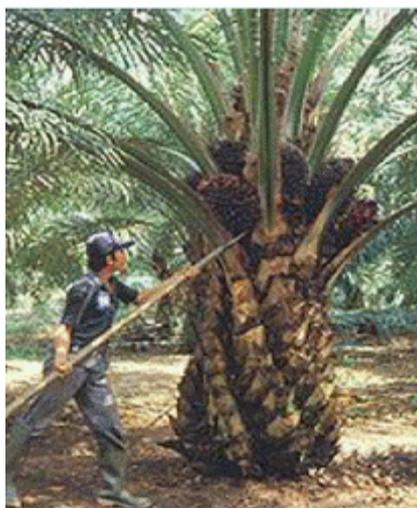
Consiste sembrar nuevamente plantas en los espacios que quedan libres por la eliminación de palmas porque están enfermas o porque ya han cumplido con su ciclo productivo.

1.4.8. Cosecha y Recolección de Fruto

El presente trabajo se enfoca en el proceso de cosecha y recolección de fruto. Este proceso ocurre cuando los frutos de la palma han madurado hasta estar listos para ser cosechados. Esto ocurre con una periodicidad diferente de acuerdo al tipo de palma. Cada jefe de división es el encargado de organizar grupos de dos personas y de asignarlos a un conjunto de hectáreas llamado parcela. Existen dos funciones principales que deben realizar los obreros de cada grupo de cosechadores:

1.4.8.1. Cosecha

Consiste en el corte de los frutos maduros de cada árbol. En este paso se requiere de la habilidad y el conocimiento del cosechador, para la identificación correcta de los frutos maduros y la técnica para el uso de las diferentes herramientas (podón, palilla o malayo).



Fuente: Portal Web ABC.

Figura 5. Cosechador/ Proceso de Cosecha y Recolección.

1.4.8.2. Recolección

Consiste en recoger y cargar a las carretas los racimos y los frutos sueltos esparcidos por el piso y la palmera. El recolector debe poner atención en retirar los frutos sueltos de las axilas foliares y de la corona (espacio circular en la base de la planta), donde se aplican herbicidas con el fin de facilitar la recolección de frutos sueltos.

Una vez recolectado el fruto las carretas son descargadas en los tambos (cuadrados de cemento ubicados en el perímetro de las parcelas), donde una volqueta los carga para ser transportados hacia la extractadora.



Fuente: Página Web ABC

Figura 6. Recolector/ Proceso de Cosecha y Recolección.

1.5. Descripción del Problema

Los productos de la extractora son muy apreciados por el mercado nacional y extranjero, de tal manera que un incremento en la producción de aceite rojo, aceite de palmiste o torta de palmiste puede ser vendido con facilidad, con un beneficio grande, para la economía de la empresa. Sin embargo actualmente la extractora, con una capacidad de 240.000 ton/año de aceite rojo (principal producto derivado de la palma aceitera), se espera produzca solamente 185.000

ton para este año debido a la escasez de fruto. De esta producción sólo el 35% se realiza con fruto de la plantación propia, y el 65% restante es comprado a productores locales. Por esto es de gran interés para la dirección que se incremente la producción de racimos de fruto en la plantación propia, con el fin de cumplir la gran demanda de aceite de palma insatisfecha.

Actualmente la empresa mantiene un estimado de la cantidad de fruto que una palmera aceitera debe ofrecer de acuerdo con el año de siembra y las condiciones climáticas de la zona. Sin embargo los resultados obtenidos son mucho menores a la realidad, se presume que esto ocurre debido a los siguientes factores:

- Gran cantidad de racimos verdes recolectados.

La empresa tiene un promedio de 2,28% de racimos verdes para el 2010, lo que le significa una merma en su producción de \$164 949 dólares anuales.

- Gran cantidad de racimos podridos recolectados.

La plantación tiene un promedio de 1,36% de racimos podridos para el 2010, lo que le significa una pérdida del potencial de producción de \$80 768 dólares anuales.

- Gran Cantidad de racimos dejados en el campo sin recoger.

La empresa tiene un estimado de 35,23 kg por hectárea cosechada del peso de los racimos que no se recogen cada mes. Esto implica que la empresa ha perdido \$277 362 dólares durante el 2010.

- Gran cantidad de frutos sueltos dejados en el suelo de la plantación.

ABC ha estimado que no se recogen 2,89 kg de fruto suelto por hectárea cosechada durante cada mes. Esto implica que la empresa deja de ganar \$230 279 dólares anualmente, a diferencia de los racimos no recogidos, el frutos suelto es donde se aloja la mayor cantidad de aceite.

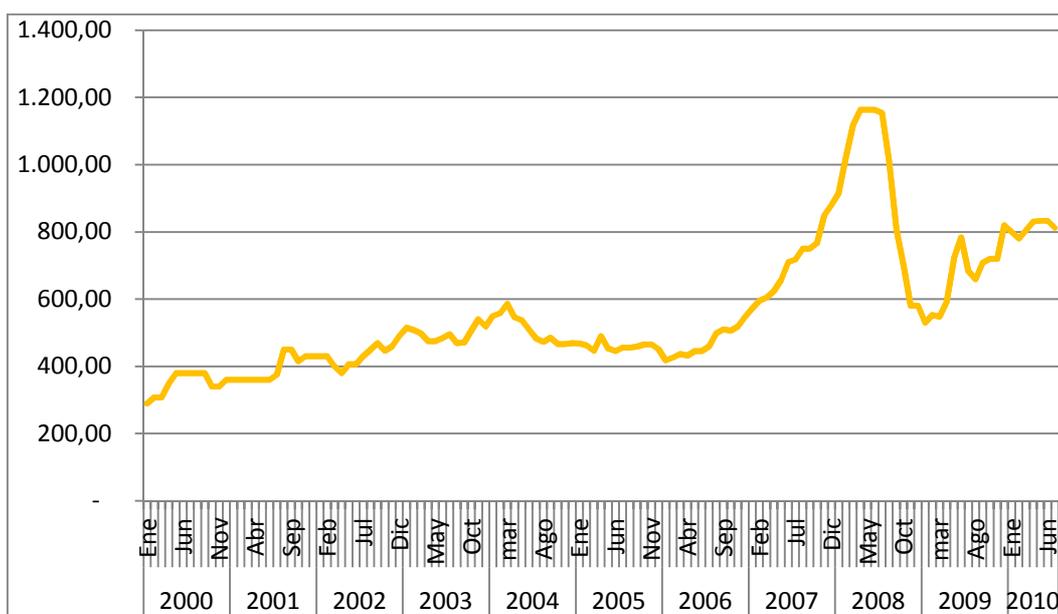
- Hurto de fruto en el campo por parte de cosechadores ajenos a la empresa.
- Recolección de materiales indeseables como piedras, ramas o pedúnculos (tallos de que sostienen a los racimos de fruta).

El presente proyecto, por lo tanto, se enfocará en plantear una propuesta de optimización del proceso de cosecha y recolección de fruto, con el fin aumentar la cantidad de frutos maduros obtenidos de la plantación; ya que esto puede provocar un aumento significativo en los ingresos económicos de la empresa.

1.6. Justificación del Proyecto

ABC junto con las plantaciones de San Lorenzo y Shushufindi son las encargadas de suplir la necesidad de la refinería de la empresa, de aceite rojo como primera prioridad y aceite de palmiste en segundo lugar. La refinería es la encargada de administrar el aceite que recibe de las plantaciones para su uso interno o para la exportación a compradores extranjeros.

La demanda del aceite rojo o también conocido como aceite crudo de palma ha crecido agigantadamente en los últimos años, lo que ha provocado un incremento muy importante en el precio de la tonelada de aceite, alcanzado un pico muy elevado en el 2008, y con tendencia a continuar creciendo durante este año, como se puede ver en el siguiente gráfico.



Fuente: ANCUPA Asociación Nacional de Cultivadores de Palma

Figura 7. Precio de la Tonelada de Aceite Rojo.

La zona de Quinindé se caracteriza por la gran cantidad de palmicultores y extractoras. Sin embargo, la capacidad instalada de las extractoras supera a la producción de las plantaciones, por lo que la competencia por la fruta es muy fuerte, y ha provocado un aumento constante en el precio de la tonelada de fruto entre las extractoras.

Debido a estas características del mercado, el grupo agroindustrial ha decidido enfocar sus esfuerzos en que las plantaciones puedan aumentar su producción, con el fin de aprovechar los altos precios para la exportación y evitar la compra de aceite a extractoras vecinas. Sabiendo que la capacidad de la extractora es suficiente, se debe aumentar la producción de racimos de la propia plantación y disminuir la compra de fruto a las plantaciones vecinas a un precio muy elevado.

El presente proyecto por lo tanto pretende entregar una propuesta para optimizar el proceso de cosecha y recolección de fruto, con el fin aumentar la cantidad de frutos maduros obtenidos de la plantación de ABC; ya que esto puede provocar un aumento significativo en los ingresos de la empresa debido a la exportación y una reducción de los costos del aceite crudo para la producción de la empresa refinadora.

1.7. Organización del Proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo optimizar el proceso de cosecha y recolección de fruto, de ABC. El proyecto se enfoca en las 3.323 hectáreas en producción que la plantación mantiene, estas palmeras son cosechadas cada 12 días en la variedad Guineensis y cada 21 días en la variedad híbrida durante todo el año.

Con el fin de realizar la optimización del proceso de cosecha y recolección de fruto, el proyecto se va a realizar en las siguientes etapas:

1. Levantar la información y diagramar el flujo del proceso de cosecha y recolección de fruto, con el fin aumentar el conocimiento del mismo, y reconocer las actividades que agregan valor e identificar posibles acciones de mejorar que van a ser consideradas en las etapas siguientes.

2. Reconocer los recursos que actualmente se utilizan, y la manera en que éstos son asignados para las actividades de cosecha y recolección.
3. Medir tiempos para las actividades diagramadas en el paso anterior, y definir las respectivas distribuciones que serán las entradas para la simulación que se correrá posteriormente.
4. Utilizar un modelo de simulación para evaluar la situación actual del proceso de cosecha y recolección. Además se debe validar los resultados para comprobar que empatan con la realidad del proceso.
5. Plantear posibles mejoras en el proceso de cosecha y recolección de fruto, que incrementen la producción de frutos maduros. Después se debe evaluar dichas alternativas con el fin de seleccionar la más adecuada.
6. Definir los recursos necesarios para el funcionamiento del nuevo proceso de cosecha y recolección de fruto. Además, definir un plan de implementación de los cambios sugeridos.
7. Evaluar el costo/beneficio del nuevo proceso de cosecha y recolección, con el fin de determinar su factibilidad económica.
8. Diseñar un sistema de control de calidad que evite la recolección de frutos verdes, frutos podridos y materiales indeseables (piedras, ramas, etc.), que se adapte al nuevo proceso sugerido.

2. MARCO TEORICO

2.1. Diagramación de Procesos

2.1.1. Diagrama de Flujo de Proceso

Según Niebel y Freivalds, el diagrama de flujo de proceso muestra todos los movimientos y almacenamientos de un artículo en su paso por un determinado proceso, Esta herramienta es valiosa para identificar pérdidas de tiempo por actividades no productivas como transporte, demoras y almacenamientos innecesarios.

Estos diagramas utilizan un conjunto estándar de símbolos establecidos por ASME en 1972, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Simbología del Flujograma

Fuente: Apuntes de Clase de Introducción a Ingeniería Industrial, Patricio Cisneros.

| | | |
|----------------|---|------------------------------|
| OPERACIÓN |  | Martillar, mezclar, taladrar |
| TRANSPORTE |  | Mover |
| ALMACENAMIENTO |  | Apilar, almacenar, archivar |
| DEMORA |  | Esperar |
| INSPECCION |  | Examinar, controlar, medir |
| DECISION |  | SI o NO |

De acuerdo a Zandin este diagrama se debe identificar como Diagrama de Flujo de Proceso y se acompaña de información que incluye el número de la parte procesada, el número del dibujo, la descripción del proceso, el método actual o propuesto y el responsable. Además de otros datos como el edificio, el departamento y el número del diagrama. Un ejemplo de la información que se incluye en un diagrama de flujo se presenta a continuación.

| | | | |
|--------------|--------------------------------------|-----------|-------|
| Ubicación: | Dorben Ad Agency | | |
| Actividad: | Preparación de publicidad por correo | | |
| Fecha: | 1-26-98 | | |
| Operador: | J. S. | Analista: | A. F. |
| Método: | Actual | | |
| Comentarios: | | | |

Fuente: Ingeniería Industrial 11^a edición de Niebel y Freivalds

Figura 8. Formato del Diagrama de Flujo de Procesos

2.1.2. Metodología para la Toma de Tiempos

De acuerdo a Niebel, existen tres elementos que ayudan a determinar los tiempos estándar para las diferentes actividades: las estimaciones, los registros históricos y los procedimientos de medición del trabajo. Sin embargo, con el pasar de los años se ha demostrado que ningún individuo puede establecer estándares de tiempo consistentes y justos sólo con ver un trabajo y juzgar el tiempo requerido para terminarlo, por lo que actualmente los registros históricos y las técnicas de medición de trabajo que proporcionan valores precisos que las estimaciones basadas solo en el juicio son más utilizadas.

2.1.2.1. Método de Registros Históricos

Zandin señala que con este método los estándares de tiempo se basan en los registros de trabajos similares, realizados con anterioridad. Sin embargo, estos registros incluyen generalmente retrasos personales, inevitables y evitables en un grado mucho mayor que lo que deben, y otros no incluyen las cargas adecuadas

de tiempos de retraso. Los datos históricos contienen desviaciones consistentes hasta de 50% en la misma operación del mismo trabajo. Esta técnica informa cuánto tiempo llevó en realidad hacer el trabajo, pero no cuánto tiempo debió haber tardado.

2.1.2.2. Método de Medición del Trabajo

Niebel y Freivalds exponen que cualquiera de las técnicas de medición del trabajo: estudio de tiempo con cronómetro (electrónico o mecánico); datos de movimientos fundamentales, datos estándar, fórmulas de tiempos o estudios de muestreo de trabajo representan mejores caminos para establecer estándares de tiempos y por lo tanto de producción justos, ya que estas técnicas se basan en hechos e incluyen suplementos por fatiga y por retrasos personales y retrasos inevitables.

El equipo mínimo requerido para llevar a cabo un estudio de tiempos incluye un cronómetro, una tabla, las formas para el estudio y una calculadora de bolsillo. También puede ser útil un equipo de video grabación.

2.1.2.3. Recomendaciones para el Estudio de Tiempos

Para Niebel y Frievalds la realización de un estudio de tiempos es tanto una ciencia como un arte, ya que el analista debe poder inspirar confianza, aplicar su juicio y desarrollar acercamiento personal con quienes tenga contacto. Además, debe ser capaz, en base a su experiencia y conocimiento, de entender a fondo y realizar las distintas funciones relacionadas con el estudio. Las recomendaciones para el estudio son las siguientes:

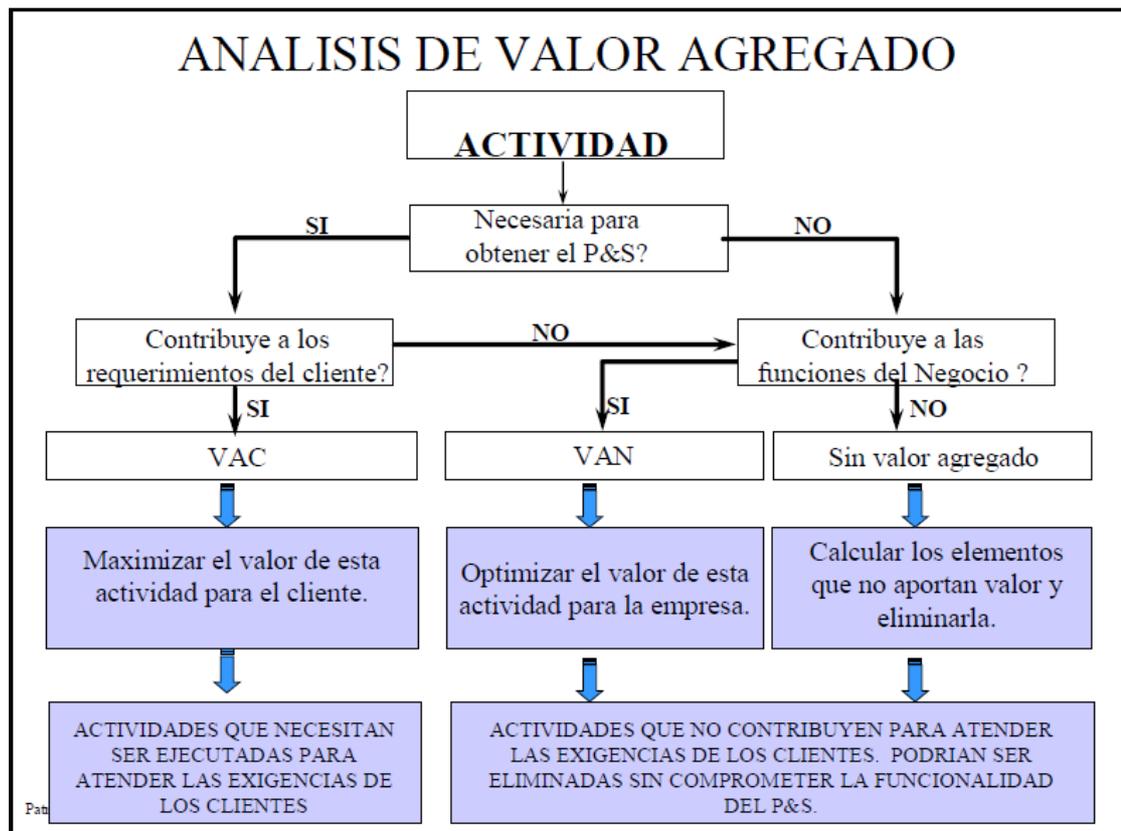
- El equipo mínimo requerido para llevar a cabo un estudio de tiempos incluye un cronómetro, una tabla, las formas para el estudio y una calculadora de bolsillo. También puede ser útil un equipo de video grabación.

- El estudio de tiempos debe ser realizado por un supervisor de la línea o del departamento, el cual debe seleccionar un operario con un desempeño promedio o un poco sobre el promedio, que realiza un trabajo con consistencia y sistemático. Este obrero debe estar bien capacitado en el método de trabajo, le debe gustar su trabajo y estar interesado en hacerlo bien (Niebel y Freivalds).
- Para este estudio se debe mantener un registro detallado que contenga las máquinas, herramientas manuales, dispositivos, condiciones de trabajo, materiales, operaciones, nombre y número del operario, departamento, fecha de estudio y nombre del observador (Niebel y Freivalds).
- El observador no puede estar sentado, y debe ubicarse a unos cuantos pies hacia atrás del operario para no distraerlo o interferir en su trabajo. Se debe evitar la conversación con el operario durante el estudio (Niebel y Freivalds)

2.1.3. Análisis de Valor Agregado (AVA)

Zandin recomienda evaluar cada una de las actividades de un proceso mediante esta técnica, que consiste en examinar en forma detallada cada fase de un proceso, para determinar si contribuye con los resultados buscados. El objetivo del AVA es optimizar los pasos que aportan valor y minimizar o eliminar los que no aportan. Las actividades que agregan valor generalmente son: operación, inspección y decisión, mientras que las que no agregan valor son: transporte, demora y almacenamiento.

La base del análisis de valor añadido es el diagrama de flujo del proceso, a partir del cual se deben diferenciar las actividades que agregan valor de las que no agregan valor. Un esquema que permite separar las actividades que agregan valor de las que no se muestra a continuación:



Fuente: Presentación de Clase de Introducción a Ingeniería Industrial, Patricio Cisneros.

Figura 9. Esquema para diferenciar actividades que agregan valor.

Después en base al número total de las actividades que agregan valor se evalúa al proceso en general. De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de actividades que agregan valor} \\ & = \frac{\# \text{ de actividades que agregan valor}}{\text{Total de actividades del proceso}} \times 100\% \end{aligned}$$

Ecuación [1]

2.2. Simulación

Shannon define a la simulación como: “El proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias (dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos) para el

funcionamiento del sistema". La simulación tiene como principal objetivo ayudar a las organizaciones a incrementar su eficiencia y efectividad. Esta herramienta ha sido probada para resolver un gran rango de problemas e investigaciones entre los que se destacan variaciones estocásticas, análisis con variables discretas o continuas y visualización a través de animación.

Según Chase, Jacobs y Aquilano, lo más importante de la simulación es que nos permite realizar experimentos antes de que un sistema real este operando, para ayudar a diseñarlo, para observar cómo reaccionaría ante cambios en sus reglas de operación, o para evaluar la respuesta del sistema ante cambios de su estructura. La simulación es especialmente adecuada para situaciones donde el tamaño o la complejidad del problema hacen que las técnicas de optimización resulten difíciles o impracticables. Además, los resultados generalmente son fáciles de presentar, por lo que son prácticos para ganar el apoyo de la dirección o de los trabajadores.

2.2.1. Tipos de Simulación

Según Chase, Jacobs y Aquilano, los modelos de simulación pueden ser calificados en dos grandes grupos:

- Modelos Continuos

Estos modelos están basados en ecuaciones matemáticas y, por lo tanto, son continuos y tiene variables para todos los puntos en el tiempo.

- Modelos Discretos

Los modelos de simulación discretos solo ocurren en puntos específicos del tiempo.

Para ilustrar las diferencia entre los dos tipos de modelos se pueden utilizar el siguiente ejemplo: los clientes que llegan a la ventanilla de un cajero del banco es simulación discreta, ya que salta de un punto a otro en del tiempo; la llegada de un cliente, el inicio del servicio, el final del servicio, y la llegada del siguiente cliente. Si la corrida de simulación discreta emplea unidades de tiempo se suele

conocer como simulación de hechos. Las aplicaciones para la administración de operaciones usan casi exclusivamente la simulación discreta de hechos.

2.2.2. *Etapas de un Estudio de Simulación*

Las etapas para realizar una simulación suelen ser las siguientes (Vergara):

2.2.2.1. Definición del Sistema

Se trata de describir el sistema que se va a modelar, definir los objetivos perseguidos por el proyecto, y los indicadores que medirán el desempeño del sistema. Además, lo que diferencia la definición con fines de simulación de otros instrumentos de análisis, es que se debe identificar las variables controlables (son modificables por el/los responsables del proceso) e incontrolables del sistema a estudiar.

2.2.2.2. Formulación del Modelo

Se trata de definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. Lo que caracteriza a la simulación, de otras técnicas, es que el modelo creado es específico para las circunstancias de cada problema.

2.2.2.3. Recolección de Datos

Consiste en tomar los datos y tiempos con el fin de definir las distribuciones de las actividades que ocurren en el sistema simulado. Lo importante en este punto es diferenciar claramente qué propiedades del sistema deben ser fijas (parámetros) y cuáles varían cuando corremos la simulación (variables).

2.2.2.4. Implementación del Modelo en la Computadora

Se puede utilizar software como: Promodel, Vensim, Stella y iThink, GPSS, Simula, Simscript, Rockwell Arena, [Flexsim], etc., para procesar el modelo en la computadora y obtener los resultados deseados. En la sección 2.2.3 se explica cómo escoger la herramienta de simulación más adecuada para cada problema.

2.2.2.5. Verificación

Los resultados de una simulación dependen del grado en que el modelo refleje el sistema real, pero también dependen del diseño de la simulación en un sentido estadístico. La verificación trata de evaluar que el modelo se comporta de acuerdo a su diseño, concretamente, es una comprobación para saber si el código de la computadora es una traducción válida del proceso mostrado en el flujograma.

2.2.2.6. Validación

Se trata de valorar las diferencias entre el funcionamiento del simulador y el sistema real que se está tratando de simular. Concretamente, es una comprobación para saber si el código de la computadora representa debidamente el sistema real o no. Los errores del programa pueden surgir debido a equivocaciones en la codificación o la lógica, los primeros se detectan fácilmente ya que la computadora tendrá problemas para ejecutarlo. Los errores de lógica son un reto mayor ya que el programa corre pero no produce resultados correctos.

Para enfrentar este problema se pueden utilizar tres técnicas: comprobar los resultados del programa mediante cálculos separados; simular las condiciones presentes y compararlos con el desempeño del sistema existente; comparar los resultados con los obtenidos al resolver un modelo matemático relevante.

2.2.2.7. Experimentación

Consiste correr la simulación para generar los datos deseados. Según Vergara, en general, existen dos tipos de análisis de simulación que se dictaminan de acuerdo a los resultados deseados:

- Con Terminación (Terminating)

El modelo o sistema simulado y el análisis de un periodo de interés dictaminarán las condiciones específicas de inicio, terminación, y la longitud de la corrida de la simulación.

Para este tipo de análisis se define un periodo de tiempo de interés, las condiciones iniciales pueden o no surgir a partir de la definición del periodo de tiempo y el tiempo de finalización de la simulación puede o no estar dictaminado por el periodo de tiempo de interés

- De Estado Estable (Steady State)

Simulación se utiliza para estimar desempeño del sistema a lo largo de un periodo de tiempo muy extendido (estimados de desempeño de estado estable).

Para determinar el número de corridas de una simulación, Vergara sugiere utilizar la siguiente ecuación:

$$n \approx z_{1-\alpha/2}^2 * \frac{S^2}{h^2}$$

Ecuación [2]

Donde n es el número aproximado de réplicas que se debe correr, Z es la distribución normal estándar evaluada para un intervalo de confianza $1 - \alpha/2$; S es la desviación estándar obtenida a partir de un número de corridas de prueba cada corrida entrega una observación del indicador que se busca analizar; y h define la precisión que se busca obtener con la simulación, es la mitad de intervalo de confianza del indicador que se busca analizar. Además como se presenta por Montgomery, esta es la misma ecuación se utiliza para determinar el

tamaño de muestra de una población infinita cuando se requiere conocer una media o distribución de tiempo.

2.2.2.8. Interpretación

Se interpretan los resultados que arroja la simulación y con base a esto se toma una decisión.

2.2.3. Herramientas de Simulación

Para Chase, Jacobs y Aquilano los programas de simulación pueden clasificarse como de propósito general o de propósito especial. Los software de propósito general son realmente lenguajes que permiten a los programadores crear sus propios modelos de simulación, algunos ejemplos son: SLAM II, SIMAN, GPSS/PC, PC-MODEL, etc. Los programas de software para la simulación de propósitos especiales son creados para simular propósitos específicos; por ejemplo: MAP/I Y SIMFACTORY.

A pesar de que existen muchos programas de simulación, la manera más fácil de escoger un software, es entendiendo el tipo de simulación que se requiere y a continuación solo será cuestión de revisar los programas que ofrece el mercado para encontrar el que se ajuste más a las necesidades específicas de cada situación.

2.2.4. Simulación en ARENA

La Systems Modeling Corporation produce software para sistemas de manufactura, que van desde operaciones fabriles hasta los restaurantes de comida rápida. Los modelos desarrollados con su producto ARENA ayudan a identificar cuellos de botella y problemas en un sistema o a calibrar el flujo de capacidad de un sistema propuesto.

Según la página web del software de simulación ARENA, este es una ayuda para demostrar, predecir y medir estrategias aplicadas al sistema en pos de

eficiencia, efectividad y desempeño optimizado. Además, puede proteger al negocio mediante el análisis del impacto de nuevas ideas de negocio, reglas y estrategias antes de la ejecución directa con los clientes, sin causar interrupción en la operación.

2.2.5. Elementos Básicos de la Simulación.

Los elementos básicos que intervienen en una simulación son los siguientes:

2.2.5.1. Entidades

Representan los objetos dinámicos de la simulación, los cuales tienen características propias o atributos. Las entidades se crean, mueven y eliminan.

2.2.5.2. Variables Globales

Es información que refleja alguna característica del sistema, que pueden ser definidas por el usuario o por el programa de simulación. Estas variables son accesibles por todas las entidades que pueden modificarlas.

2.2.5.3. Colas

Son espacios de espera para entidades cuyo movimiento a través del sistema se ha suspendido por algún motivo.

2.2.5.4. Recursos

Son elementos estacionarios de un sistema donde pueden situarse las entidades. Poseen capacidad y conjunto de estados.

2.2.5.5. Acumuladores Estadísticos

Son variables que recogen información conforme la simulación avanza para después obtener la salida.

2.2.5.6. Eventos

Son acciones que ocurren en cierto instante de tiempo que puede cambiar atributos, variables o acumuladores estadísticos.

2.2.5.7. Reloj de la Simulación.

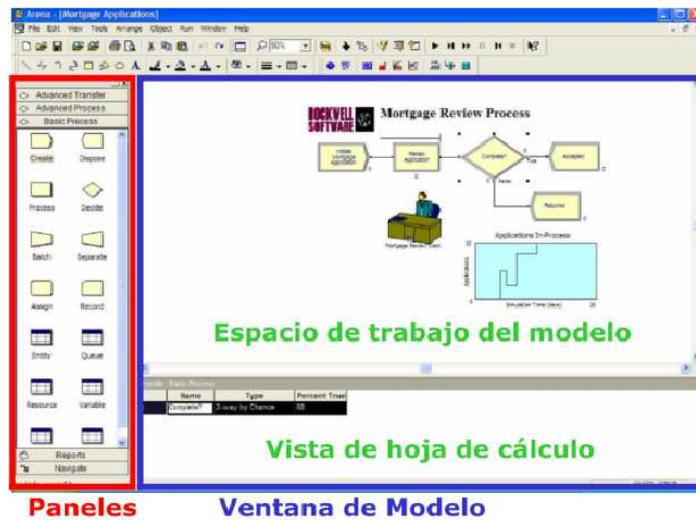
Es una variable que recoge el tiempo actual de simulación. No fluye continuamente: pasa del tiempo de un evento al siguiente.

2.2.6. Módulos de ARENA

Según Vergara, la construcción de modelos de Arena se basa en la selección de módulos de los siguientes paneles:

- Basic Process
- Advanced Process
- Advanced Transfer

Los cuales se encuentra en la posición que se detalla en la siguiente figura.



Fuente: Vista de Pantalla del Software Arena.

Figura 10. Pantalla Principal Software Arena

Dentro de estos paneles existen módulos que pueden ser de dos tipos:

- **Flujo**
Se sitúan en el espacio de trabajo del modelo, se conectan entre ellos, y forman la lógica del modelo. Estos se ubican en la parte superior de los paneles.
- **Datos**
Su información aparece en la vista de la hoja de cálculo. Y se ubican en la parte inferior de los paneles.

Los principales módulos que se utilizan con fines de simulación son los siguientes:

2.2.6.1. Decide

Es un módulo de Arena que genera una decisión para que las entidades continúen en dos o varios caminos, dependiendo de los atributos de las entidades o de manera aleatoria. La forma de este módulo es un rombo.

2.2.6.2. Assign

Este módulo tiene forma rectangular con cortes en los extremos. La función de este módulo es asignar a las entidades que lo atraviesan una variable o atributo específico.

2.2.6.3. Process

Este módulo como su nombre indica representa los procesos que ocurren en el sistema, con este fin, este módulo se conforma de una cola una demora y una liberación. Este módulo puede contener subsistemas donde se especifique las actividades que lo componen. Dentro del módulo de proceso Arena registra los datos como el tiempo en cola, la longitud máxima de la cola, el trabajo en proceso, etc.

2.2.6.4. Create

Este módulo es el encargado de la creación de nuevas entidades que deben pasar por el proceso.

2.2.6.5. Dispose

Una vez ocurrido el proceso este módulo es el que se encarga de retirar a las entidades del sistema.

2.2.7. *Análisis de Datos de Entrada*

Este análisis nos permite especificar qué distribuciones deberían ser utilizadas en el modelo de simulación para representar un componente aleatorio del sistema. En general hay dos opciones para el tipo de distribución ajustada:

- Empírica

Generan observaciones que coinciden con el porcentaje o la frecuencia de diferentes valores observados en los datos recolectados. Las ventajas de esta tipo de distribución son: la representación de los datos reales observados; facilidades para la validación si se toman medidas de desempeño en el mismo periodo que se obtienen las observaciones. Pero pueden reflejar solo parcialmente la realidad del sistema (Vergara).

Estas distribuciones deben ser utilizadas cuando no existan distribuciones teóricas con un ajuste aceptable.

- Teórica

Son distribuciones comúnmente utilizadas para reflejar las entradas de una simulación. El procedimiento para ajustar estas distribuciones es el siguiente:

1. Sugerir/Hipotetizar una distribución teórica apropiada con parámetros específicos.
2. Aplicar una prueba estadística a la hipótesis de que los datos observados son observaciones de la distribución teórica del paso 1.
3. Repetir si es necesario.

En Arena se puede utilizar una aplicación adjunta llamado Input Analyzer, que permite ajustar distribuciones rápidamente.

2.2.8. Pruebas de Ajuste de Distribuciones Estadísticas

Las pruebas de bondad de ajuste determinan si existe suficiente evidencia para decir que los datos no están bien representados por la distribución sugerida. Las pruebas de bondad de ajuste evaluarán la siguiente hipótesis nula:

H₀: Los x son observaciones independientes distribuidas idénticamente a partir de la distribución con parámetros θ .

Existen dos pruebas de bondad y ajuste que son comúnmente utilizadas:

- Prueba Chi-cuadrado

Intuitivamente se debe pensar en esta prueba como una manera formal de comparar un histograma modificado con una distribución teórica (Vergara).

- Prueba Kolmogorov-Smirnov

Es la comparación entre la distribución teórica y la distribución empírica de una muestra de datos. Es particularmente útil cuando los tamaños de muestra son pequeños y cuando no se han estimado parámetros a partir de los datos.

Para cada una de estas pruebas, el Input Analyzer presenta el valor p correspondiente, el cual indica el error tipo 1 con el que se rechaza o no a la hipótesis nula. Un valor alto de p indica un mejor ajuste de la distribución sugerida, comúnmente es utilizado 0,05 como el nivel de referencia para rechazar o no H_0 , sin embargo, para mayor seguridad en el presente trabajo se utilizara 0,10 como nivel de referencia (Montgomery).

2.3. Mejoramiento de la Calidad

Para Montgomery la calidad es actualmente uno de los factores de decisión más relevantes para los consumidores al elegir un producto o servicio, sin importar el tipo de comprador. Por consiguiente, entender y mejorar la calidad puede decidir el éxito del negocio, en cuanto al crecimiento y a una posición competitiva fortalecida.

Actualmente el concepto ha evolucionado desde la adecuación para el uso, la cual desafortunadamente fue asociada con la conformidad con las especificaciones sin importar si el producto, aun cuando se fabrica de acuerdo con los estándares, es en realidad lo que el cliente busca. La definición moderna es: la calidad es inversamente proporcional a la variabilidad.

A partir de esta definición, se ha establecido al mejoramiento de la calidad como la reducción de la variabilidad en procesos y productos. Como la variabilidad excesiva de los procesos suele causar muchos desperdicios, un

concepto alternativo muy utilizado de mejoramiento de la calidad es la reducción de los desperdicios.

2.3.1. Métodos Estadísticos de Control y Mejoramiento de Calidad.

Según Montgomery, la tecnología estadística y de ingeniería útil en el mejoramiento de la calidad tiene tres áreas principales:

- Control Estadístico de Procesos.
- Diseño de Experimentos.
- Muestreo de Aceptación.

2.3.2. Muestreo de Aceptación

El muestreo de aceptación guarda una estrecha relación con la inspección y prueba del producto, cuyo desarrollo se origina mucho antes de que se creara una metodología estadística para el mejoramiento de la calidad. Esta área se define como la inspección que se hace para fines de aceptación o rechazo de un producto con base en el cumplimiento de un estándar (Montgomery). El muestreo de aceptación es uno de los principales componentes del control y mejoramiento de la calidad, y se utiliza mayormente en la inspección de entrada o recepción de materias primas, sin embargo, también puede ser utilizado cuando un fabricante haga muestreos o inspecciones de su producto en varias etapas del proceso.

Montgomery, establece tres aspectos del muestreo que son importantes para este estudio:

1. El muestreo de aceptación se realiza con el propósito de dictaminar los lotes, no estimar su calidad.
2. Los planes de muestreo de aceptación no proporcionan ninguna forma directa del control de la calidad.

3. El muestreo de aceptación no es para inspeccionar la calidad de un producto, sino más bien una herramienta de auditoría a fin de asegurar que la salida de un proceso cumple con los requerimientos.

2.3.3. Plan de Muestreo por Atributos

Los atributos son características de la calidad que se expresan en base de “pasa o no pasa” es decir el producto tiene o no tiene una característica física determinada que lo hace ser rechazado o aceptado, los atributos no se miden en una escala numérica (Montgomery).

2.3.4. Plan de Muestreo Único

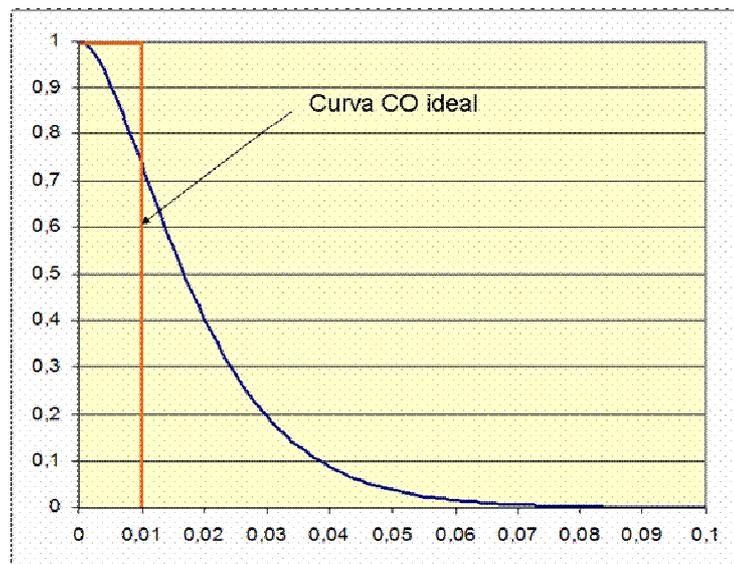
El plan de muestreo se conoce así, porque el lote se dictamina en base a la información contenida en una sola muestra de tamaño de n . Según Montgomery es un plan que se utilizan para dictaminar lotes con N unidades, en los que se selecciona al azar una muestra de n unidades, y el destino del lote se determina con base en la información contenida en esta muestra. Para esto se debe determinar un número de aceptación c , si hay c o menos unidades defectuosas en la muestra, entonces el lote se acepta. Al número de artículos disconformes o defectuosos observados se los identifica con la letra d .

2.3.5. Curvas OC

Según Montgomery las curvas OC son una medida importante del desempeño de un plan de muestreo único. En estas curvas se grafica la probabilidad de aceptar el lote versus la fracción defectuosa del mismo lote. En general estas curvas siguen una distribución binomial con parámetros $n p$ donde n es el tamaño de la muestra y p es la fracción de artículos defectuosos, donde los lotes de tamaño muy grande o infinito, como se muestra en la figura 11.

El desempeño ideal de un plan de muestreo debería mostrar una figura rectangular, donde la probabilidad de aceptación es uno hasta que alcance un

nivel de calidad del lote sin que se considere mala, y después de este punto cae verticalmente a una probabilidad de aceptación 0. Lo que se debe buscar con el plan de muestro es que su curva OC sea lo más similar al desempeño ideal para evitar errores tipo I y tipo II. El error tipo I, es la probabilidad de rechazar un lote bueno, mientras que el error tipo II, se define como la probabilidad de aceptar un lote malo (Montgomery).



Fuente: Control Estadístico de la Calidad de Montgomery

Figura 11. Curva OC ideal

2.3.6. Nivel de Calidad Aceptable

Es el nivel más pobre de calidad que el consumidor consideraría aceptable para no rechazar los productos de un proveedor. El AQL (por sus siglas en inglés) no tiene la intención de ser una especificación del producto ni un valor objetivo para el proceso de producción, es simplemente un estándar contra el cual evaluar los lotes (Montgomery).

2.3.7. Military Standard 105E (ANSI/ASQC Z1.4, ISO 2856)

Este procedimiento fue desarrollado por la milicia estadounidense durante la Segunda Guerra Mundial, se trata un sistema de muestreo de aceptación para

atributos de mayor uso en el mundo (Montgomery). El estándar MIL STD 105E es una colección de esquemas de muestreo: estrategia global que especifica la forma en que deben usarse los planes de muestreo.

El procedimiento para usar el estándar MIL STD 105E (Montgomery):

1. Elegir el AQL.
2. Elegir el nivel de inspección, puede ser I, II o III dependiendo del nivel de discriminación que se necesite siendo I el de menor nivel de inspección.
3. Determinar el tamaño del lote (N).
4. Encontrar la letra del código apropiada para el tamaño del lote en las tablas.
5. Determinar el tipo apropiado de plan de muestreo (simple, doble, múltiple).
6. Consultar la tabla apropiada para encontrar el tipo de plan que debe usarse (n y c).
7. Determinar los planes de muestreo normal y reducido correspondiente que deben usarse.

2.4. Análisis Económico de Proyectos

Según Sullivan la evaluación de proyectos tiene como finalidad, analizar la conveniencia o inconveniencia en el uso de recursos destinados a la ejecución de un proyecto, dirigido a la solución de un problema o a la satisfacción de necesidades. Los criterios que se utilicen deben garantizar, la eficiencia financiera, económica, social y ambiental.

Las metodologías tradicionales de evaluación, se concentran en la rentabilidad financiera, la cual da respuesta a los intereses del inversionista, y la eficiencia de los recursos desde el punto de vista de los beneficios económicos; dentro de estas técnicas las más utilizadas son:

- Valor actual neto/ Valor presente neto (VPN o VAN)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Ecuación [3]

V_t representa los flujos de caja en cada periodo t .

I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n es el número de períodos considerado.

- Tasa interna de retorno (TIR)
- Análisis de Costo/Beneficio
- Período de recuperación de la inversión.

Para el análisis financiero de los proyectos, Sullivan sugiere la utilización del valor presente neto ya que se adapta a todo tipo de proyectos y es de fácil comprensión, ya que los flujos futuros se llevan al presente donde se puede ver claramente si los beneficios superan a los costos. Sin embargo, el VPN depende de la tasa interés que se utilice, por este motivo Blank plantea la utilización de la TIR para evaluación de proyectos, ya que en este método se busca encontrar precisamente la tasa de interés para que el VPN se iguale a cero. Otra herramienta muy utilizado para la evaluación de proyectos es el análisis costo/beneficio, este método ha sido muy utilizado, ya que presenta una respuesta de fácil comprensión y para los costos y beneficios se pueden utilizar valores presentes, valores anualizados o también valores futuros. Por esto, para el presente trabajo se utilizará el análisis costo/beneficio.

2.4.1. Análisis de Costo/Beneficio

Según Blank, el análisis costo/beneficio es un método fundamental para la decisión de inversión en proyectos, principalmente del sector público. Para la realización de este análisis todos los cálculos de costos y beneficios deberán

convertirse en una unidad monetaria de equivalencia común a la tasa de descuento. Blank nos presenta la ecuación más comúnmente utilizada:

$$B/C = \frac{\text{Valor Presente de Beneficios}}{\text{Valor Presente de Costos}}$$
$$B/C = \frac{\text{Valor Anual de Beneficios}}{\text{Valor Anual de Costos}}$$

Ecuación [4]

Para este cálculo tanto los costos como los beneficios serán positivos, con el fin de obtener siempre relaciones positivas, y el valor de salvamento se debe reducir de los costos. Para concluir sobre el resultado de la relación se utiliza las siguientes directrices:

- Si el B/C es mayor o igual que uno se dice que el proyecto es económicamente aceptable.
- Si el B/C es menor que uno se dice que el proyecto no es económicamente aceptable.

Los contrabeneficios se definen como desventajas que el beneficiario recibe cuando se lleva a cabo el proyecto, pueden consistir en desventajas económicas indirectas a la alternativa. Estos contrabeneficios como los costos de mantenimiento y operación también deberán ser considerados en el análisis de costo/beneficio, por lo que se deben restar en dentro del numerador.

3. DESCRIPCION DEL PROCESO ACTUAL DE COSECHA Y RECOLECCION DE FRUTO.

Como se menciona anteriormente la plantación de Quinindé actualmente mantiene 3.323,03 hectáreas netas en producción, dentro de éstas la gran mayoría son palmeras africanas (3.231,52 hectáreas netas) y sólo un pequeño grupo de parcelas son palmeras híbridas (91,51 hectáreas netas). Las palmeras africanas deben ser cosechadas cada 11 días durante todo el año con el fin evitar la pudrición de los racimos en el árbol, mientras que las palmeras híbridas deben ser cosechadas con una periodicidad de 21 días.

3.1. Recursos Utilizados en el Proceso

Sin importar las diferencias en cuanto a periodicidad, el proceso de cosecha y recolección de fruto es exactamente el mismo. Y como se menciona anteriormente cada grupo consta de dos personas: un cosechador y un recolector, además, a pesar de no ser parte del grupo de cosecha y recolección, existe una tercera persona el alzador que es el encargado de cargar los racimos para ser transportados a la extractora. Estos obreros utilizan las siguientes herramientas:

Tabla 2. Herramientas del Proceso de Recolección y Cosecha.

Fuente: Jefes de División de la empresa ABC.

| Obrero | # | Herramientas | Edad de la Planta | Observaciones |
|------------|---|-------------------|-------------------|--|
| Cosechador | 1 | Palilla | 3-4 años | Permite cortar solo los racimos de la palma sin bajar las hojas inferiores. (Robo de racimos). |
| | | Podón | 5-10 años | Permite cortar los racimos mas rápido que la palilla pero corta las hojas inferiores. |
| | | Malayo | 11 años | Se utiliza cuando las palmas han crecido mas del alcance del podón. |
| Recolector | 1 | Burro/ Canastilla | 3-10 años | Es mas rápido y versátil, pero no puede cargar mas de 250-300 kg. |
| | | Búfalo/ Carreta | 11 años | Puede cargar hasta 700-750kg, pero es mas lento y menos versátil. |
| | 2 | Recogedor | - | Sirve para recoger los frutos sueltos de la corona. |
| Alzador | 1 | Chuzo | - | Permite picar a los racimos para alzarlos a los camiones/volquetas. |
| | 2 | Pala | - | Sirve para recoger los frutos sueltos del tambo. |

3.2. Diagramación del Proceso

Utilizando el formato presentado en la figura 8 de la sección 2.2.1, y la simbología presentada en la tabla 1 en la misma sección, se realizó la diagramación del proceso de cosecha y recolección de fruto, que va desde la identificación de los frutos maduros por parte de los cosechadores hasta el transporte a la extractora.

Figura 12. Flujograma del Proceso de Cosecha y Recolección del fruto.

Fuente: Observación del Proceso de Cosecha y Recolección del Fruto.

A las actividades del Alzador “Reunir todos los frutos sueltos a un solo grupo” y “Recoger todos los frutos sueltos” y cargarlos en el transporte del Alzador, presentadas en el flujograma, se las consideró como una demora, ya que son movimientos que fueron realizados previamente por el Recolector, pero que se deben repetir, por que el Recolector al llegar al tambo descarga todo los racimos y frutos sueltos que se vuelven a esparcir por el piso. Aquí se identifica una oportunidad de mejora para el proceso.

3.3. Análisis de Valor Agregado del Proceso

De acuerdo con la figura 9 de la sección 2.1.3 y la ecuación [1] se realizó el análisis de valor agregado del proceso de recolección y cosecha de racimos. En este proceso ocurren once actividades de las cuales solo seis agregan valor, lo que significa el 54,55%. Esto indica que hay gran cantidad actividades que no agregan valor que podrían ser mejoradas.

Además, se utilizó el tiempo promedio de las diferentes actividades en base a los datos que se presentarán en la sección 3.4. Esto permitió calcular el % del tiempo de las actividades que agregan valor, el cual corresponde a solamente 21,94%. El análisis de valor agregado se presenta en la siguiente figura.

Figura 13. Análisis de Valor del Proceso de Cosecha y Recolección del fruto.

Fuente: Observación del Proceso de Cosecha y Recolección del Fruto.

3.4. Determinación de Distribuciones de Tiempo

El análisis de valor agregado del proceso de recolección y cosecha de fruto presenta las diferentes actividades tanto del cosechador o del recolector de fruto, las cuales deben medirse con el fin determinar las distribuciones de tiempo que serán las entradas para la simulación en Arena. Sin embargo, hay que considerar el tamaño de las plantas y las herramientas que se utilizan, ya que son determinantes en desempeño de los obreros y por lo tanto en las distribuciones de las actividades del proceso.

Como resultado se obtuvieron las distribuciones de tiempo para el cosechador utilizando palilla/podón y por otro lado utilizando malayo, no se realiza una diferenciación entre la palilla y podón por la gran similitud de estas herramientas y por lo tanto del desempeño del cosechador. Como se muestra en la tabla 2 de la sección 3.1 la palilla y el podón se utiliza para palmas menores a los 10 años; y el malayo para plantas mayores a esta edad.

De la misma manera, para el recolector se determinaron las distribuciones de tiempo llevando un burro y por otro lado llevando un búfalo. Cabe recalcar que la utilización del burro o búfalo es, actualmente, decisión personal del recolector, de acuerdo al gusto o la costumbre del mismo, o a la disponibilidad del animal. Sin embargo, en caso de plantas menores a los 10 años, siempre se carga el fruto con un burro, ya que el tamaño de los búfalos y de su carreta impiden que se desplace entre los árboles.

Como resultado, en el capítulo siguiente se simulará los siguientes escenarios:

1. Cosechador utilizando malayo y recolector utilizando burro (palmas mayores a los 10 años)
2. Cosechador utilizando palilla/podón y recolector utilizando burro (palmas menores a los 10 años).
3. Cosechador utilizando malayo y recolector utilizando búfalo (palmas mayores a los 10 años).

Finalmente, cabe aclarar que todas las distribuciones de tiempo que se presentan están expresadas en segundos.

3.4.1. Tamaño de muestra

Para el tamaño de muestra se utilizó la ecuación [2] presentada en la sección 2.2.2.7 del marco teórico.

$$n \approx z_{1-\alpha/2}^2 * \frac{S^2}{h^2}$$

- El intervalo de confianza de la prueba utilizado es del 0,95, lo que da un valor Z de 1,96, este intervalo es alto para tener mayor seguridad en los resultados de la prueba.
- La desviación estándar tiene una aproximación utilizando los datos presentados en el Anexo A.1, que corresponden a la actividad de caminar entre las palmeras realizada por el cosechador utilizando malayo. La desviación estándar de la muestra obtenida fue de 4,23.
- Finalmente la mitad del intervalo de confianza esperado de las distribuciones será 1,5 (seg en el caso de las distribuciones de tiempo).

Como resultado se obtuvo un tamaño de muestra 30,55 mediciones. Mientras mayor sea el número de datos obtenidos menor será el intervalo de confianza esperado de las distribuciones, por lo que se tomarán de 30 datos en adelante, con el fin de asegurar mejores resultados.

3.4.2. Método de Medición de Tiempos

Para la medición de tiempos se utilizó un cronómetro, el que registraba los tiempos en secuencia, haciendo pausas cada vez que el cosechador o el recolector terminaba un actividad. Se buscó tener una muestra significativa de cada una de las actividades, sin intervenir o forzar un desempeño diferente al normal. Para esto se siguieron los siguientes lineamientos:

- Mantener una distancia prudente del obrero para no intervenir en su desempeño.
- Tomar tres o cuatro observaciones de cada obrero, con el fin de incluir en la muestra a la mayor cantidad de obreros tanto rápidos como lentos. Además, esto permitía no crear en el trabajador una sensación de incomodidad que le lleve a apresurar o retrasar su labor.
- Se tomaron los datos desde el inicio de la jornada hasta la tarde, con el fin de incluir en las observaciones la fatiga de los trabajadores.
- Tomar observaciones durante varios días y parcelas, con el fin de incluir factores geográficos y climáticos.
- No se tomaron tiempos de trabajadores nuevos o de avanzada edad con el fin de evitar observaciones atípicas. Para esto se realizó la medición de tiempos acompañado del supervisor del grupo.

3.4.3. Método para Garantizar la Aleatoriedad de la Muestra.

Según Montgomery en el libro *Diseño y Análisis de Experimentos*, un muestreo aleatorio es aquel en el que todas y cada una de las unidades muestrales de la población tienen igual probabilidad de ser seleccionadas para formar parte de la muestra. Para asegurar la aleatoriedad de las muestras de tiempos de las diferentes actividades se siguió los siguientes lineamientos:

- Utilizar las divisiones geográficas ya establecidas, de tal manera que se tomó una cantidad similar de observaciones de las tres divisiones para cada actividad.
- Dentro de cada división, muestrear los tiempos de la actividades realizadas tanto en palmas mayores a los 11 años, y menores a los 10 años. De esta manera, las observaciones se tomaron: de la división 1 de los años de cultivo 2000 y 2005; de la división 2 de los años de cultivo 1999 y 2004; y de la división 3 de los años 1997 y 2005.

A partir de estos lineamientos, se busca que la muestra de tiempos sea aleatoria, es decir que todas las particularidades de la población tengan las mismas probabilidades de ser seleccionadas.

3.4.4. Distribuciones del Cosechador utilizando Malayo

Las actividades que realiza el cosechador son: caminar hasta la siguiente palmera, identificar los racimos que se encuentren maduros, cortar los racimos maduros, retirar las hojas cortadas.

3.4.4.1. Caminar entre Palmeras

Para determinar esta distribución se tomaron 64 observaciones que se muestran en el Anexo A.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo A.2, es 3 + GAMM (3.03, 1.71) la cual tiene el menor error cuadrado (0.003407). Esto significa que la suma cuadrada de las diferencias entre el histograma de las observaciones y el histograma de la distribución propuesta es el más pequeño.

Además del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es de 0,23 (Anexo A.2). Por lo tanto no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula presentada en la sección 2.2.8. Se utilizó la prueba Chi Cuadrado con este fin, porque es más confiable que la prueba Kolmogorov-Smirnov cuando existen más de 30 observaciones como se menciona en la literatura. Como resultado de este análisis se utilizará 3 + GAMM (3.03, 1.71) como entrada para la simulación.

3.4.4.2. Identificar los Racimos Maduros

Para determinar esta distribución se tomó 52 observaciones que se muestran en el Anexo B.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de

Arena. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo B.2, es 2 + LOGN (7.86, 9.09) la cual tiene el menor error cuadrado (0.001241).

A pesar del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es $p\text{-value} < 0.005$ (Anexo B.2). Por lo tanto hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se decidió utilizar una distribución empírica con el fin de ajustar una mejor distribución a las observaciones. El resultado que se muestra en el Anexo B.3 fue:

CONT or DISC (0.000, 2.000,
 0.538, 7.857,
 0.808, 13.714,
 0.885, 19.571,
 0.942, 25.429,
 0.962, 31.286,
 0.981, 37.143,
 1.000, 43.000)

Esta distribución será utilizada para modelar al proceso de recolección y cosecha de frutos en el capítulo siguiente.

3.4.4.3. Cortar los Racimos Maduros

Para determinar esta distribución se tomaron 42 observaciones que se muestran en el Anexo C.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo C.2, es 4 + GAMM (15.5, 1.21) la cual tiene el menor error cuadrado (0.016411).

A pesar del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es $p\text{-value} < 0.005$ (Anexo C.2), por lo tanto hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se decidió utilizar una distribución empírica con el fin de ajustar una mejor distribución a las observaciones. El resultado que se muestra en el Anexo C.3 fue:

CONT or DISC (0.000, 4.000,
 0.476, 17.500,
 0.833, 31.000,
 0.881, 44.500,
 0.905, 58.000,
 0.952, 71.500,
 1.000, 85.000)

Esta distribución será utilizada para modelar al proceso de recolección y cosecha de frutos en el capítulo siguiente.

3.4.4.4. Retirar las Hojas Cortadas

Para determinar esta distribución se tomaron 32 observaciones que se muestran en el Anexo D.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo D.2, es TRIA (3, 15.9, 46) la cual tiene el menor error cuadrado (0.002199).

Además del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es de 0.558 (Anexo D.2). Y el valor p obtenido de la prueba Kolmogorov-Smirnov es de $p\text{-value} > 0.15$ (Anexo D.2). Por lo tanto no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se utilizó la prueba Chi Cuadrado y la prueba Kolmogorov-Smirnov con este fin ya que existen un número muy cercano a 30 observaciones. Como resultado de este análisis se utilizará TRIA (3, 15.9, 46) como entrada para la simulación.

3.4.5. Distribuciones del Cosechador utilizando Podón/Palilla

De la misma manera que el cosechador utilizando malayo, las actividades más importantes que realiza el cosechador utilizando Podón/Palilla son las siguientes: caminar hasta la siguiente palmera, identificar los racimos que se encuentren maduros, cortar los racimos maduros, retirar las hojas cortadas.

3.4.5.1. Caminar entre Palmeras

Para determinar esta distribución se tomaron 60 observaciones que se muestran en el Anexo E.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo E.2, es 3 + ERLA (0.994, 3) la cual tiene el menor error cuadrado (0.016413).

Además del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es de 0.137 (Anexo E.2). Por lo tanto no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se utilizó la prueba Chi Cuadrado con este fin, porque es más confiable que la prueba Kolmogorov-Smirnov cuando existen más de 30 observaciones como se menciona en la literatura. Como resultado de este análisis se utilizara 3 + ERLA (0.994, 3) como entrada para la simulación.

3.4.5.2. Identificar los Racimos Maduros

Para determinar esta distribución se tomo 63 observaciones que se muestran en el Anexo F.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo F.2, es 1 + LOGN (5.59, 3.85) la cual tiene el menor error cuadrado (0.011706).

Además del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es de 0.148 (Anexo F.2). Por lo tanto no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se utilizó la prueba Chi Cuadrado con este fin, porque es más confiable que la prueba Kolmogorov-Smirnov cuando existen más de 30 observaciones como se menciona en la literatura. Como resultado de este análisis se utilizará 1 + LOGN (5.59, 3.85) como entrada para la simulación.

3.4.5.3. Cortar los Racimos Maduros

Para determinar esta distribución se tomaron 54 observaciones que se muestran en el Anexo G.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo G.2, es 3 + WEIB (9.07, 1.2) la cual tiene el menor error cuadrado (0.016553).

A pesar del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es 0.0669 (Anexo G.2). Por lo tanto hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se decidió utilizar una distribución empírica con el fin de ajustar una mejor distribución a las observaciones. El resultado que se muestra en el Anexo G.3 fue:

CONT or DISC (0.000, 3.000,
 0.333, 7.857,
 0.722, 12.714,
 0.833, 17.571,
 0.926, 22.429,
 0.944, 27.286,
 0.981, 32.143,
 1.000, 37.000)

Esta distribución será utilizada para modelar al proceso de recolección y cosecha de frutos del capítulo siguiente.

3.4.5.4. Retirar las Hojas Cortadas

Para determinar esta distribución se tomaron 47 observaciones que se muestran en el Anexo H.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo H.2, es 2 + GAMM (7.29, 1.21) la cual tiene el menor error cuadrado (0.004109).

Además del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es de 0.229 (Anexo H.2). Por lo tanto no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se utilizó la prueba Chi Cuadrado con este fin, porque es más confiable que la prueba Kolmogorov-Smirnov cuando existen más de 30 observaciones como se menciona en la literatura. Como resultado de este análisis se utilizará 2 + GAMM (7.29, 1.21) como entrada para la simulación.

3.4.6. Distribuciones del Recolector utilizando Burro

Las actividades que realiza el recolector con burro son: caminar hasta la siguiente palmera, alzar los racimos cortados, reunir los frutos sueltos, recoger los frutos sueltos, transportar los racimos al tambo, y descargar los frutos en el tambo. Sin embargo, se decidió, agrupar la actividad de reunir los frutos sueltos y recoger los frutos sueltos, porque en la realidad no están claramente separadas ya que se realizan por el recolector simultáneamente. También se unificaron en una sola distribución tiempos para la actividad de descargar frutos en el tambo junto con los tiempos de transportar los racimos al tambo.

3.4.6.1. Caminar entre Palmeras

Para determinar esta distribución se tomaron 99 observaciones que se muestran en el Anexo I.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo I.2, es 3 + GAMM (2.02, 2.49) la cual tiene el menor error cuadrado (0.003237).

Además del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es de 0.436 (Anexo I.2). Por lo tanto no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se utilizó la prueba Chi Cuadrado con este fin, porque es más confiable que la prueba Kolmogorov-Smirnov cuando existen más de 30 observaciones como se menciona en la literatura. Como resultado de este análisis se utilizará 3 + GAMM (2.02, 2.49) como entrada para la simulación.

3.4.6.2. Alzar los Racimos

Para determinar esta distribución se tomaron 85 observaciones que se muestran en el Anexo J.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo J.2, es 1 + LOGN (12.5, 10.8) la cual tiene el menor error cuadrado (0.015576).

A pesar del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es 0.0316 (Anexo J.2). Por lo tanto hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se decidió utilizar una distribución empírica con el fin de ajustar una mejor distribución a las observaciones. El resultado que se muestra en el Anexo J.3 fue:

CONT or DISC (0.000, 1.000,
 0.200, 6.889,
 0.647, 12.778,
 0.824, 18.667,
 0.871, 24.556,
 0.918, 30.444,
 0.941, 36.333,
 0.976, 42.222,
 0.976, 48.111,
 1.000, 54.000)

Esta distribución será utilizada para modelar al proceso de recolección y cosecha de frutos del capítulo siguiente.

3.4.6.3. Recoger los Frutos Suelto

Para determinar esta distribución se tomaron 40 observaciones que se muestran en el Anexo K.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input

Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo K.2, es 6 + WEIB (22.5, 0.763) la cual tiene el menor error cuadrado (0.003852).

A pesar del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es < 0.005 (Anexo K.2). Por lo tanto hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se decidió utilizar una distribución empírica con el fin de ajustar una mejor distribución a las observaciones. El resultado que se muestra en el Anexo K.3 fue:

CONT or DISC (0.000, 6.000,
 0.625, 28.500,
 0.825, 51.000,
 0.875, 73.500,
 0.900, 96.000,
 0.950, 118.500,
 1.000, 141.000)

Esta distribución será utilizada para modelar al proceso de recolección y cosecha de frutos del capítulo siguiente.

3.4.7. Distribuciones del Recolector utilizando Búfalo

De la misma manera que el recolector utilizando burro, las actividades que realiza el recolector con búfalo: caminar hasta la siguiente palmera, alzar los racimos cortados, reunir los frutos sueltos, recoger los frutos sueltos, transportar los racimos al tambo, y descargar los frutos en el tambo. Sin embargo, se decidió, agrupar la actividad de reunir los frutos sueltos y recoger los frutos sueltos, porque en la realidad no están claramente separadas ya que se realizan por el recolector simultáneamente. También se unificaron en una sola distribución tiempos para la actividad de descargar frutos en el tambo junto con los tiempos de transportar los racimos al tambo.

3.4.7.1. Caminar entre Palmeras

Para determinar esta distribución se tomaron 30 observaciones que se muestran en el Anexo L.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo L.2, es 7 + EXPO (3.5) la cual tiene el menor error cuadrado (0.002683).

A pesar del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es < 0.005 (Anexo L.2). Por lo tanto hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se decidió utilizar una distribución empírica con el fin de ajustar una mejor distribución a las observaciones. El resultado que se muestra en el Anexo L.3 fue:

CONT or DISC (0.000, 7.000,
 0.567, 10.000,
 0.833, 13.000,
 0.900, 16.000,
 0.967, 19.000,
 1.000, 22.000)

Esta distribución será utilizada para modelar al proceso de recolección y cosecha de frutos del capítulo siguiente.

3.4.7.2. Alzar los Racimos

Para determinar esta distribución se tomaron 30 observaciones que se muestran en el Anexo M.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo M.2, es 7 + 2 + LOGN (10.5, 13) la cual tiene el menor error cuadrado (0.004822).

A pesar del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es < 0.005 (Anexo M.2). Por lo tanto hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se decidió utilizar una distribución empírica con el fin de ajustar una mejor distribución a las observaciones. El resultado que se muestra en el Anexo M.3 fue:

CONT or DISC (0.000, 2.000,
 0.600, 10.400,
 0.800, 18.800,
 0.867, 27.200,
 0.933, 35.600,
 1.000, 44.000)

Esta distribución será utilizada para modelar al proceso de recolección y cosecha de frutos del capítulo siguiente.

3.4.7.3. Recoger los Frutos Suelto

Para determinar esta distribución se tomaron 30 observaciones que se muestran en el Anexo N.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo N.2, es $8 + WEIB(39.5, 1.04)$ la cual tiene el menor error cuadrado (0.002684).

A pesar del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es < 0.005 (Anexo N.2). Por lo tanto hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se decidió utilizar una distribución empírica con el fin de ajustar una mejor distribución a las observaciones. El resultado que se muestra en el Anexo N.3 fue:

CONT or DISC (0.000, 8.000,
 0.533, 38.000,
 0.800, 68.000,

0.900, 98.000,
0.933, 128.000,
1.000, 158.000)

Esta distribución será utilizada para modelar al proceso de recolección y cosecha de frutos del capítulo siguiente.

3.4.7.4. Transportar los Racimos al Tambo

Para determinar esta distribución se tomaron 30 observaciones que se muestran en el Anexo O.1. Estas observaciones fueron probadas por el Input Analyzer de Arena con el fin de determinar la distribución de mejor ajuste. El resultado, que se obtuvo se muestra en el Anexo O.2, es TRIA (143, 166, 528) la cual tiene el menor error cuadrado (0.004940).

Además del error cuadrado, el valor p obtenido de la prueba Chi Cuadrado es de > 0.75 (Anexo O.2). Por lo tanto no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Se utilizó la prueba Chi Cuadrado y la prueba Kolmogorov-Smirnov, ya que este número observaciones, puede ser analizado con ambas pruebas como se menciona en la literatura. Como resultado de este análisis se utilizará TRIA (143, 166, 528) para la simulación.

3.4.8. Distribución del Número de Racimos por Palma

Finalmente, para determinar esta distribución se tomaron 97 observaciones que se muestran en el Anexo P.1. Estas observaciones fueron tabuladas con el fin de determinar la distribución empírica que mejor se adapte a las observaciones. No se utilizó el Input Analyzer ya que se trata de datos discretos que debían ser enteros. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 3. Distribución del # de racimos por palmera.

Fuente: Observaciones del Número de Racimos por Palma, Anexo P.1

| Valores Posibles | Contar | Probabilidad | Prob. Acumulada |
|------------------|--------|--------------|-----------------|
| 0 | 43 | 0,44 | |
| 1 | 41 | 0,42 | 0,76 |
| 2 | 10 | 0,10 | 0,94 |
| 3 | 3 | 0,03 | 1,00 |
| Total | 97 | 1 | |

A partir de esta tabla se determinó que el 44,33% de las ocasiones las plantas no tienen un racimo para cosechar; y en el caso de existir racimos, su número sigue la siguiente distribución DISC(0.759259259 , 0, 0.944444444 , 1 , 1, 2).

3.5. Simulación del Proceso Actual de Recolección y Cosecha de Fruto

En la sección anterior se menciona tres variantes del proceso que van ser simuladas dentro de esta sección, En esta sección, se presenta primero el modelo simulación; la determinación de la longitud de corrida; la determinación del número de réplicas; y finalmente los resultados obtenidos para las tres variantes junto con su verificación.

3.5.1. Modelo de Simulación

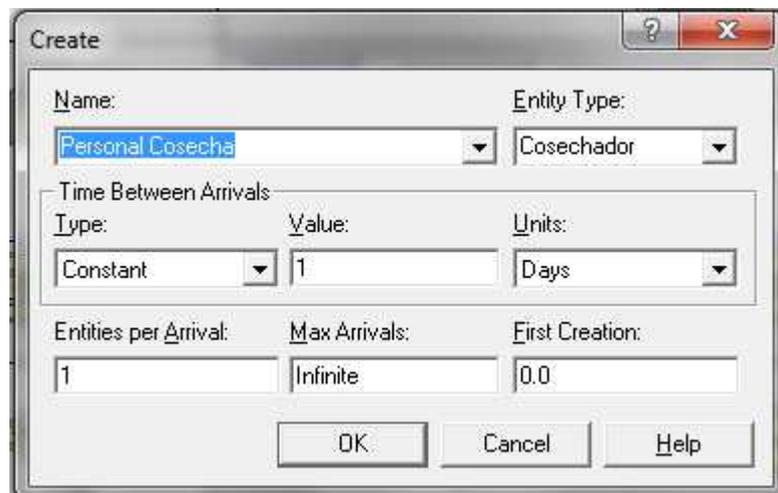
Para el modelo de simulación, como se describe en el marco teórico, se utilizará el software Arena. Con el fin de explicar la lógica y el funcionamiento del mismo, se presenta primeramente la ventana de Arena del modelo completo y después de describe el funcionamiento y los parámetros de cada uno de los módulos.

Figura 14. Modelo de Simulación del Proceso de Recolección y Cosecha de Fruto

Fuente: Simulación del Proceso Actual, Software Arena.

3.5.1.1. Personal Cosecha

Este módulo es el encargado de crear una vez al día un cosechador que realizará las actividades de: caminar entre las palmas, reconocer los racimos maduros, cortar los racimos y retirar las hojas cortadas. A pesar de tratarse de la creación de una entidad, la simulación está diseñada para utilizar al “Cosechador” como un recurso que debe recorrer por los diferentes módulos de proceso junto con las palmas o los racimos para que estos sean procesados.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 15. Módulo Personal Cosecha.

3.5.1.2. Creación de Palmas

Este módulo es el encargado de crear las palmeras aceiteras para que estén disponibles para comenzar el proceso. La creación de las palmas en el proceso real solo depende de la capacidad física del cosechador o de su velocidad para realizar su proceso. Esto se ha representado en el modelo a través de un módulo de creación de la entidad “Palmas”, que asegura la aparición permanente de palmeras, de esta manera el “Cosechador” nunca debe esperar por la creación de las “Palmas”.

Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 16. Módulo Creación Palmas

3.5.1.3. Cosechador y Palma

En este punto es donde realmente empieza el proceso. Este módulo Match lo que hace es detener a la entidad “Cosechador” o a la entidad “Palmas” hasta que no llegue el otro, es decir hasta que no se complete una pareja entre las dos entidades. El “Cosechador” debe realizar todas las actividades de su proceso y regresar de nuevo a este módulo, donde tiene siempre disponibilidad de palmas, solo depende de su capacidad. Como se mencionó anteriormente, el cosechador a pesar de ser un entidad, el modelo de Arena se ha diseñado al sistema para que se comporte como un recurso.

Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 17. Módulo Cosechador y Palma.

Este mismo funcionamiento ocurre con los siguientes módulos:

- Cosechador y Racimo

Este módulo Match agrupa a un cosechador y a un racimo, solo si las dos entidades están presentes son liberadas para continuar con el proceso. De esta manera si el cosechador no está presente, los racimos esperan en cola hasta que el cosechador realice el resto de actividades.

- Recolector y Racimos

De igual manera que el módulo anterior, los racimos esperan en cola a que el recolector realice sus actividades y regrese a este punto para continuar con el proceso.

La cola de este módulo es muy importante ya que indica el número de racimos que al final del día no fueron cosechados.

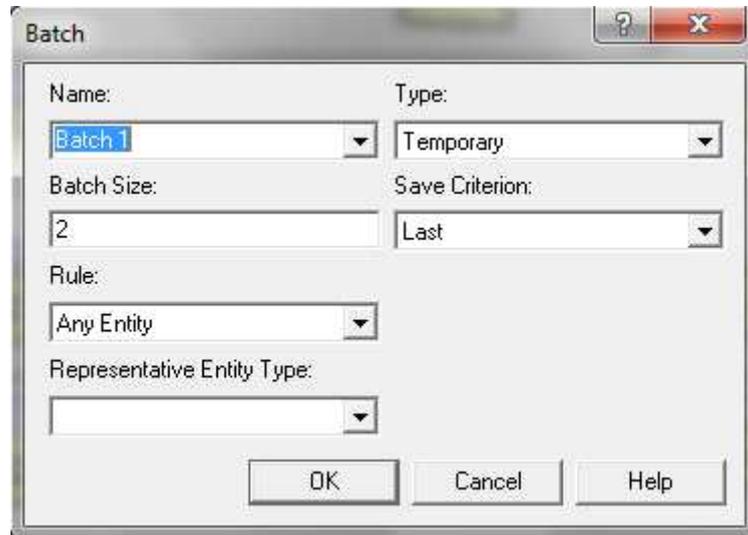
- Recolector y Canastilla

En este módulo, la canastilla llena debe esperar a que el recolector pase por esta actividad, entonces la canastilla o la carreta llena es transportada hasta el tambo. A pesar de que la cola de este módulo permanezca con racimos al final del día, esto no significa que no serán transportados hasta la extractora, ya que los recolectores una vez que han cargado este medio, siempre lo sacan hasta tambo a pesar de no estar lleno.

3.5.1.4. Batch

Existen cuatro módulos similares encargados de agrupar: al cosechador con las palmas (Batch 1); al cosechador con los racimos (Batch 2); al recolector y los racimos (Batch 3); y al recolector con la canastilla/carreta (Batch 4). Por esta función que desempeñan siempre se encuentran ubicados después de los módulos Match (véase el punto anterior). Si estos módulos Batch no estuvieran presentes los tiempos de las distintas actividades se duplicarían, ya que se procesaría tanto a las entidades reales (palmas y racimos), y a las entidades que

funcionan como recursos (cosechador y recolector). Este agrupamiento es temporal mientras ocurren ciertas actividades.

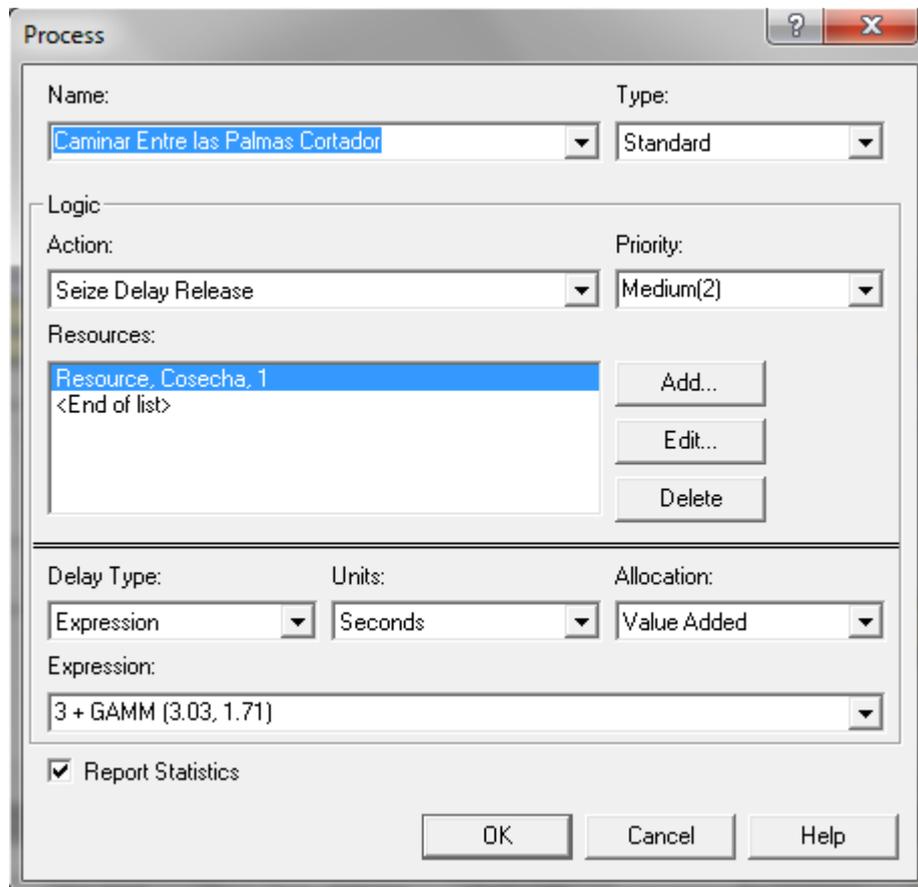


Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 18. Módulo Batch

3.5.1.5. Caminar entre las Palmeras Cortador

Este es un módulo de proceso que representa la actividad de caminar entre las palmeras realizada por el cortador. En este módulo, dependiendo de la variante del proceso, se utilizarán dos diferentes distribuciones tiempo (Cortador con Malayo y Cortador con Palilla/Podón) presentadas en las secciones 3.4.3.1 y 3.4.4.1.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

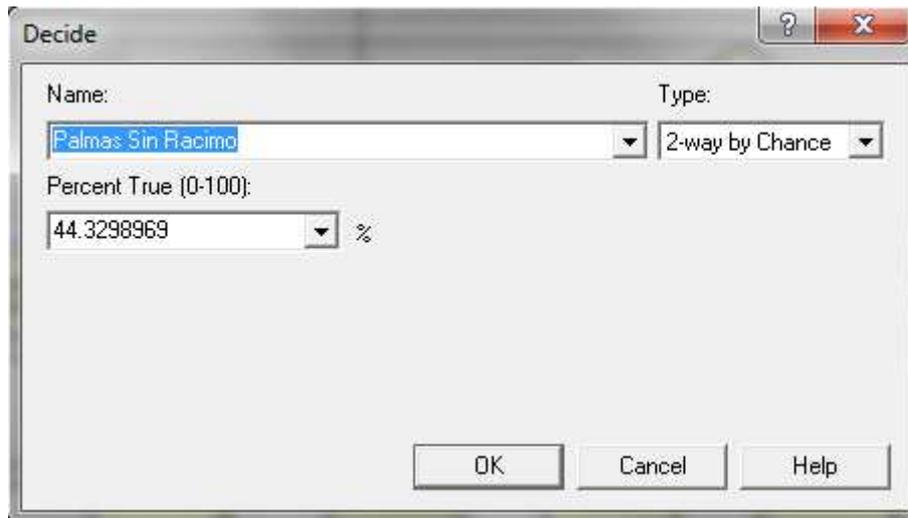
Figura 19. Módulo Caminar entre las Palmeras Cortador

Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize, Delay and Release. Lo que significa que esta actividad puede mantener una cola; utiliza un recurso, y finalmente los libera para que continúen con el proceso. El tiempo de proceso depende de una expresión (distribución de tiempo) y tiene como unidades, segundos.

El Batch entre un cosechador y una palma es el procesado por este módulo, si el cosechador todavía no se reúne con una palma en el módulo cosechador y palma, este grupo no pasa el Batch 1, por lo tanto este proceso no puede arrancar. De esta manera, se asegura que el recurso de esta actividad Cosecha que representa al Cosechador, no sea utilizado por las otras actividades.

3.5.1.6. Palmas sin Racimo

Este es un módulo de decisión, en cual se separa las palmas que tienen racimos de las palmas vacías. Esta decisión se basa en la sección 3.4.7, que determinó que el 44,33% de las palmas, por donde pasa el cosechador, no tienen racimos.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 20. Módulo Palmas sin Racimo

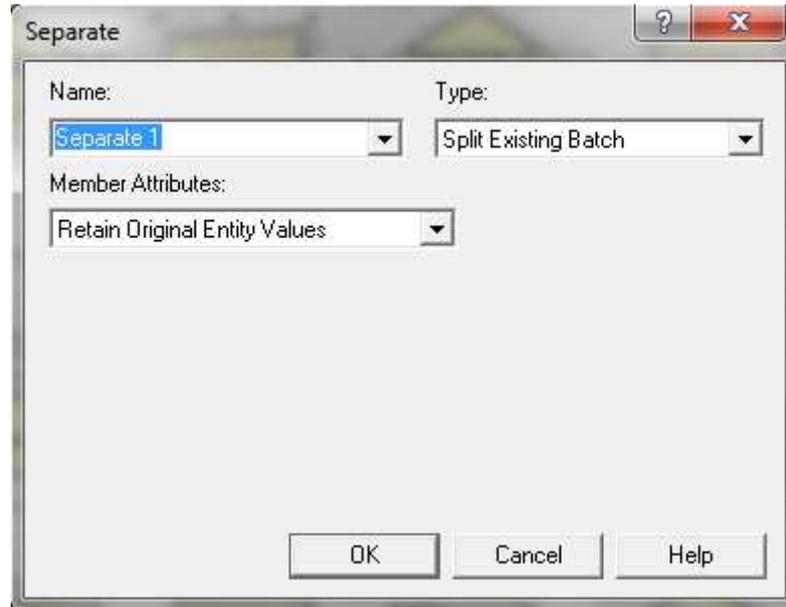
3.5.1.7. Separate

Dado que los módulos Batch, presentados en la sección 3.5.1.4, son de tipo temporal, estos pueden ser separados nuevamente utilizando el Separate de Arena. En el modelo de simulación utilizado existen seis módulos Separate, los cuales cumplen las siguientes funciones:

- Separate 1 y 2
Separa al Batch formado entre el “Cortador” y una “Palma”.
- Separate 3
Separa al Batch formado entre el “Cortador” y una “Racimo”.
- Separate 4
Separa al Batch formado entre el “Recolector” y un “Racimo”.

- Separate 5 y 6

Separa el Batch formado entre el “Recolector” y un “Racimo”.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 21. Módulo Separate 1

3.5.1.8. Separa Palmas del Cosechador1

Este módulo de decisión, que actúa después del módulo Separate 1, es el encargado de direccionar a las “Palmas” sin racimo hacia el módulo Dispose “Palmas Vacías”; y al “Cosechador” hacia el módulo “Cosechador y Palma” para que vuelva a iniciar el proceso. De esta clase de módulos de decisión, encargados de direccionar a las entidades de acuerdo a su tipo, existen los siguientes:

- Separa Palmas del Cosechador2

Envía a las “Palmas” con racimo hacia el módulo “# de Racimos Por Palma” y al “Cosechador” hacia el módulo “Cosechador y Racimo” donde se junta con un “Racimo” para continuar con el proceso.

- Separa Racimos del Cosechador

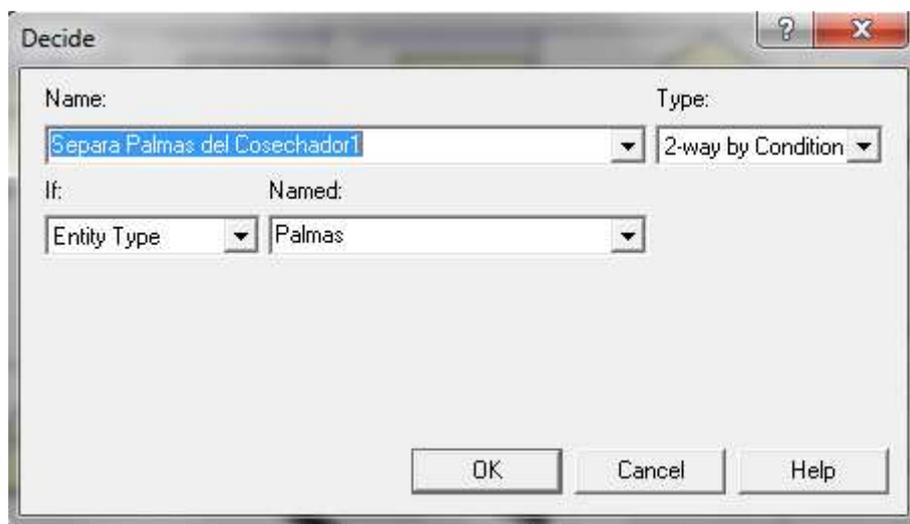
Es en el encargado de direccionar a los “Racimos” hacia el módulo Match “Recolector y Racimo” para que inicie el proceso de recolección; y al “Cosechador” lo envía al módulo de decisión “Termino de Cosechar la Palma”.

- Separa Racimos del Recolector

Envía a los “Racimos” al módulo “Llenando Canastilla” donde se agrupan a los racimos hasta que se llene la canastilla o la carreta y sean transportados hasta el tambo. El “Recolector”, por otro lado, se direcciona hacia un módulo decisión “Canastilla Llena”.

- Separa Canastilla del Recolector

Finalmente este módulo direcciona al “Recolector” hacia el módulo de proceso “Caminar entre las Palmas Recolector” donde empieza el proceso de recolección y a los “Racimos” que pasan al módulo dispone “Transporte a la Extractora” donde termina el proceso de recolección y cosecha de fruto.

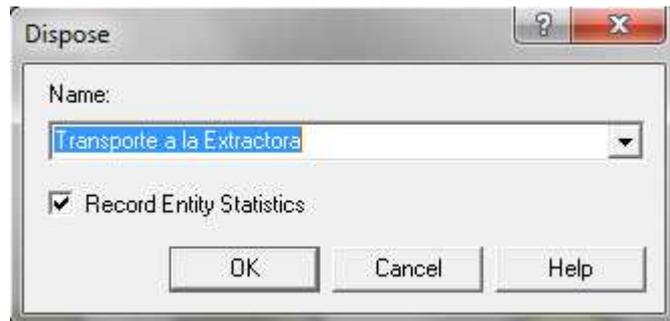


Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 22. Módulo Separa Palmas del Cosechador 1

3.5.1.9. Palmas Vacías

Este es un módulo Dispose donde todas las “Palmas” que no tienen racimo salen de la simulación. Además de este módulo Dispose, existe “Transportar a la Extractora” donde los “Racimos”, que ya pasaron por todo el proceso, salen de la simulación.

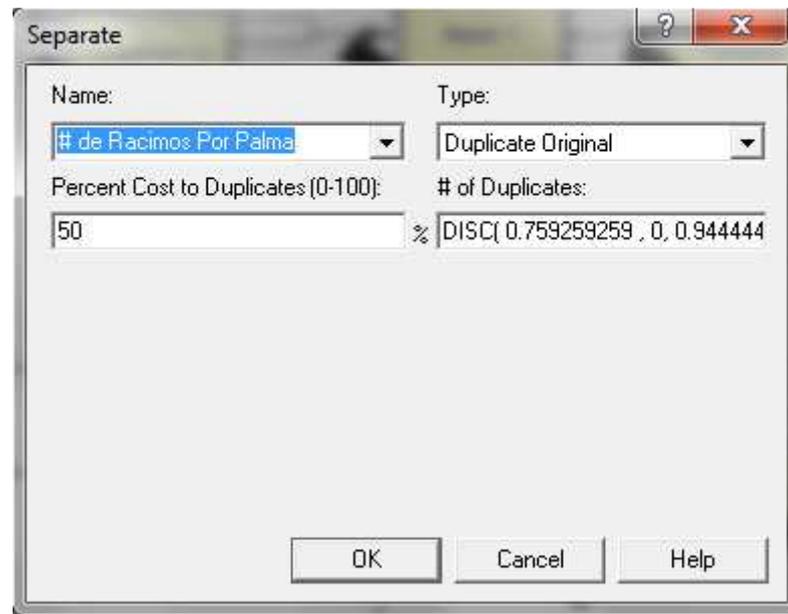


Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 23. Módulo Transporte a la Extractora

3.5.1.10. # de Racimos por Palma

Este es un módulo tipo Separate, que se basa en la distribución DISC(0.759259259 , 0, 0.944444444 , 1 , 1, 2) presentada en la sección 3.4.7. Este módulo es el encargado de generar 1, 2, o 3 “Racimos” a partir de la llegada de las “Palmas”. Esto ocurre ya que se trata de un Separate tipo “Duplicate Original”, sin embargo, para complementar la creación de racimos se necesita asignar a la entidad “Palmas” un nuevo tipo de entidad “Racimos”.

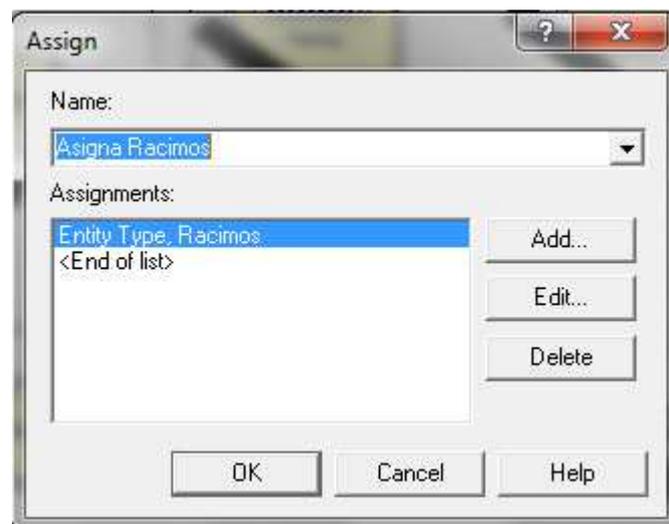


Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 24. Módulo # de Racimos Por Palma

3.5.1.11. Asigna Racimos

Este es un módulo Assign cumple con la función de cambiar del tipo de entidad “Palmas” al tipo de entidad “Racimos”.

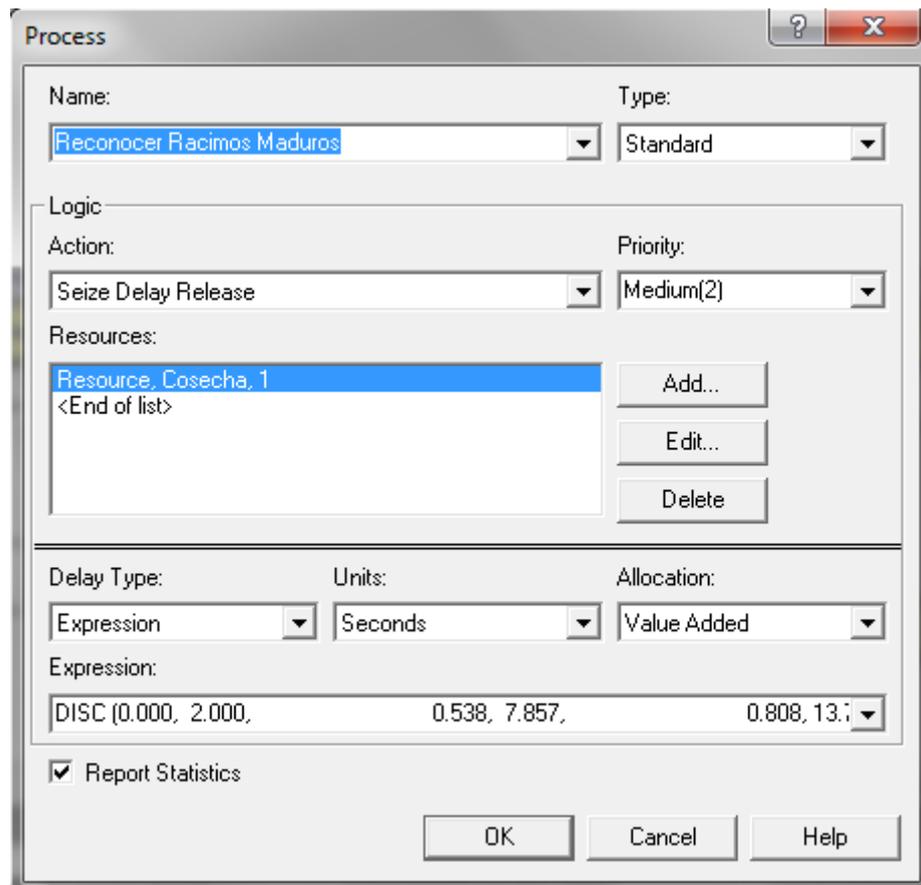


Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 25. Módulo Asigna Racimos.

3.5.1.12. Reconocer los Racimos Maduros

Este es un módulo de proceso que representa la actividad de “identificar los racimos maduros” realizada por el cortador. Dependiendo de la variante del proceso, se utilizarán dos diferentes distribuciones tiempo (Cortador con Malayo y Cortador con Palilla/Podón) presentadas en las secciones 3.4.3.2 y 3.4.4.2.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

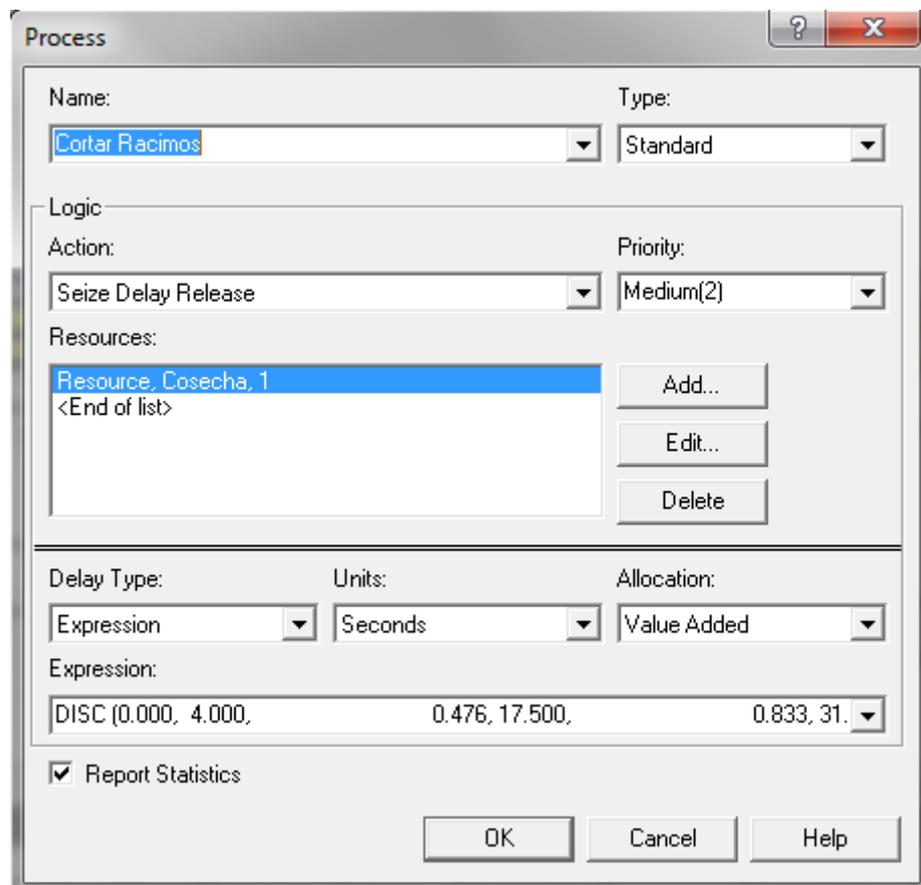
Figura 26. Módulo Reconocer Racimos Maduros

Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize Delay Release. Lo que significa que esta actividad puede mantener una cola, utiliza un recurso que este caso es Cosecha (representa al Cosechador) para procesar a los materiales, y finalmente los libera para que continúen con el proceso. La cola no es permitida, ya que el proceso es realizado por la entidad “Cosechador”, el cual debe llegar al módulo “Cosechador y Racimo” para que el “Racimo” pueda

pasar y formar un Batch con el “Cosechador” para ser procesado. El tiempo de proceso depende de una expresión (distribución de tiempo) y tiene como unidades, segundos.

3.5.1.13. Cortar Racimos

Este es un módulo de proceso que representa la actividad cortar los racimos maduros. Dependiendo de la variante del proceso, se utilizarán dos diferentes distribuciones tiempo (Cortador con Malayo y Cortador con Palilla/Podón) presentadas en las secciones 3.4.3.3 y 3.4.4.3.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

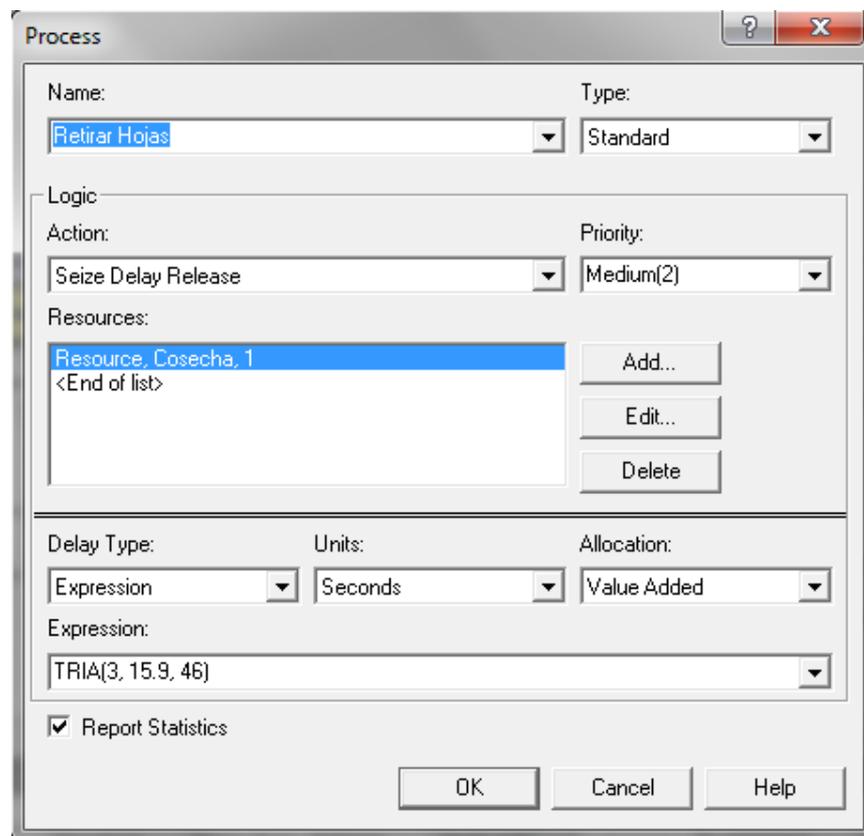
Figura 27. Módulo Cortar Racimos

Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize Delay Release. Lo que significa que esta actividad puede mantener una cola, utiliza un

recurso que este caso es Cosecha (representa al Cosechador) para procesar a los materiales, y finalmente los libera para que continúen con el proceso. La cola no es permitida, ya que el proceso es realizado por la entidad “Cosechador”, el cual debe llegar al módulo “Cosechador y Racimo” para que el “Racimo” pueda pasar y formar un Batch con el “Cosechador” para ser procesado. El tiempo de proceso depende de una expresión (distribución de tiempo) y tiene como unidades, segundos.

3.5.1.14. Retirar las Hojas Cortadas

Este es un módulo de proceso que representa la actividad retirar las hojas, la cual es realizada por el Cortador. Dependiendo de la variante del proceso, se utilizarán dos diferentes distribuciones tiempo (Cortador con Malayo y Cortador con Palilla/Podón) presentadas en las secciones 3.4.3.4 y 3.4.4.4.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 28. Módulo Retirar Hojas

Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize Delay Release. Lo que significa que esta actividad puede mantener una cola, utiliza un recurso que este caso es Cosecha (representa al Cosechador) para procesar a los materiales, y finalmente los libera para que continúen con el proceso. La cola no es permitida, ya que el proceso es realizado por la entidad “Cosechador”, el cual debe llegar al módulo “Cosechador y Racimo” para que el “Racimo” pueda pasar y formar un Batch con el “Cosechador” para ser procesado. El tiempo de proceso depende de una expresión (distribución de tiempo) y tiene como unidades a los segundos.

3.5.1.15. Terminó de Cosechar la Palma

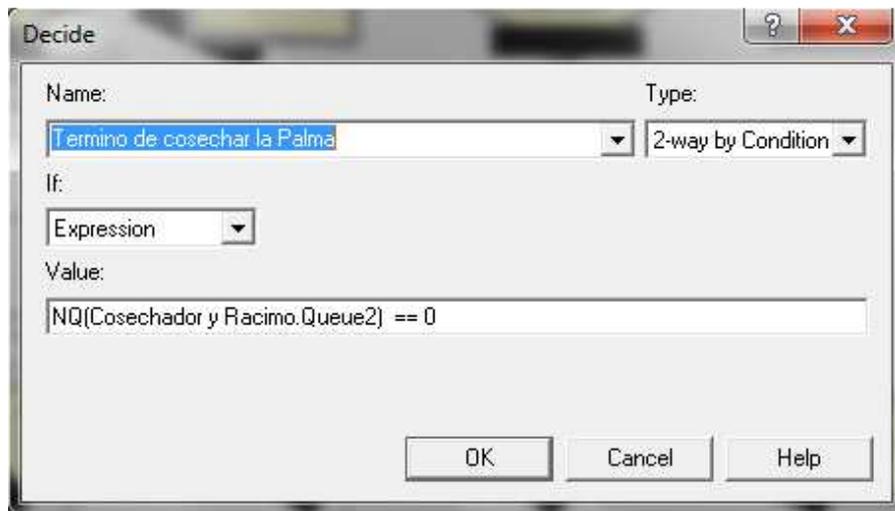
Este es un módulo de decisión, que recibe al “Cosechador” una vez que ha sido separado de la entidad “Racimos” por los módulos “Separate 3” y “Separa Racimos del Cosechador”. Al “Cosechador” este módulo lo direcciona dependiendo del número de racimos en que se encuentren en la cola “Cosechador y Racimo.Queue2” si es:

- Igual a cero

Significa que el “Cosechador” ha procesado todos los “Racimos” que se generaron una entidad “Palmas”, por lo que debe dirigirse al módulo “Cosechador y Palma” para comenzar nuevamente con el proceso.

- Mayor a cero

Significa que el “Cosechador” todavía tiene “Racimos” que cosechar en la palma actual, por lo que debe dirigirse al módulo “Cosechador y Racimos”.

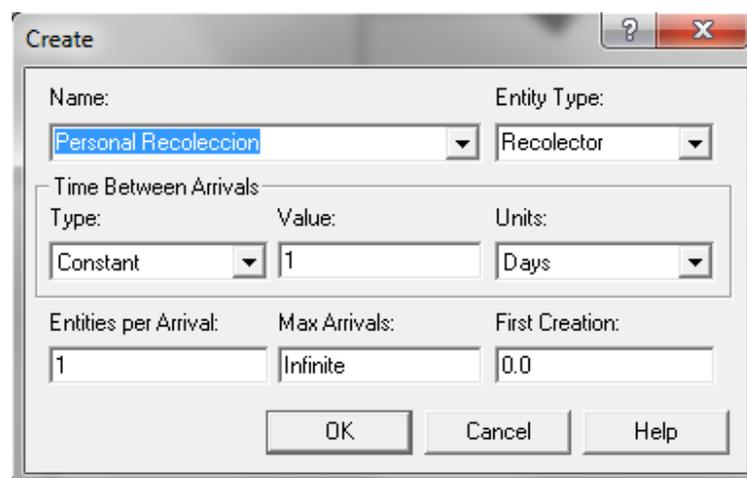


Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 29. Módulo Terminó de cosechar la Palma

3.5.1.16. Personal Recolección

Este módulo es el encargado de crear una vez al día a un “Recolector” que realizará las actividades de: caminar entre las palmas, alzar los racimos, recoger los frutos sueltos y transportar los racimos al tambo. A pesar de tratarse de la creación de una entidad, la simulación está diseñada para utilizar a él “Recolector” como un recurso que debe recorrer por los diferentes actividades junto con los “Racimos” o la “Canastilla” para que estos sean procesados.

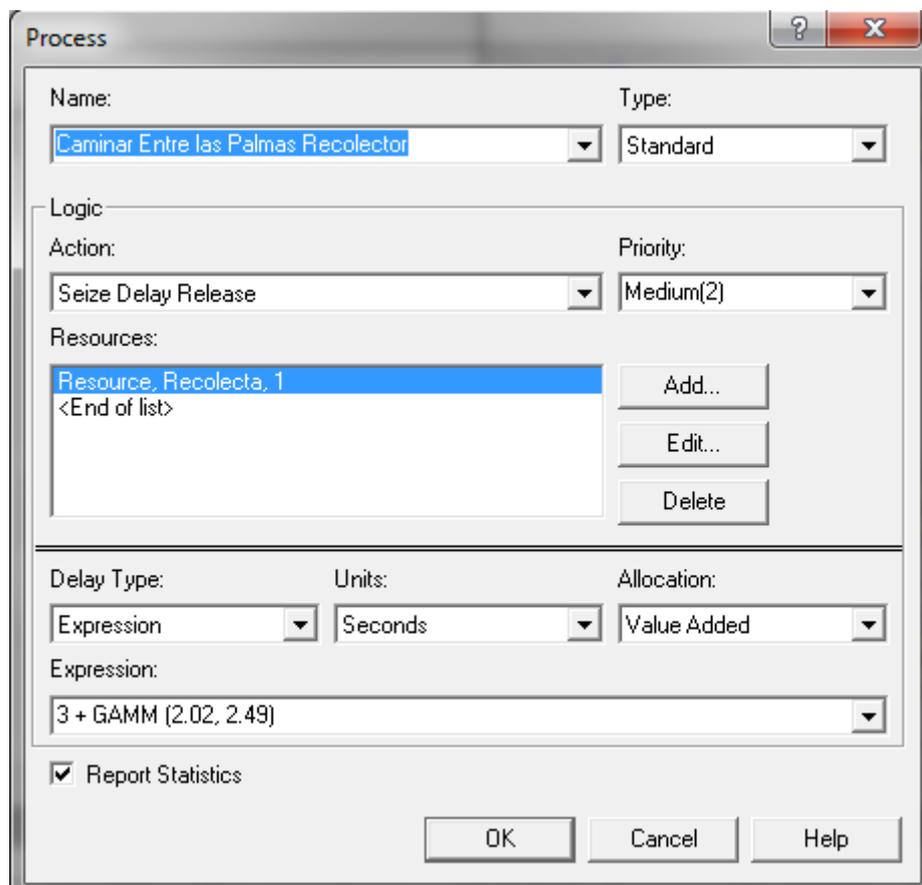


Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 30. Módulo Personal Recolección

3.5.1.17. Caminar Entre las Palmas Recolector

Este es un módulo de proceso que representa la actividad de caminar entre las palmeras realizada por el recolector. Dependiendo de la variante del proceso, se utilizarán dos diferentes distribuciones tiempo (Recolector con burro y Recolector con búfalo) presentadas en las secciones 3.4.5.1 y 3.4.6.1.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

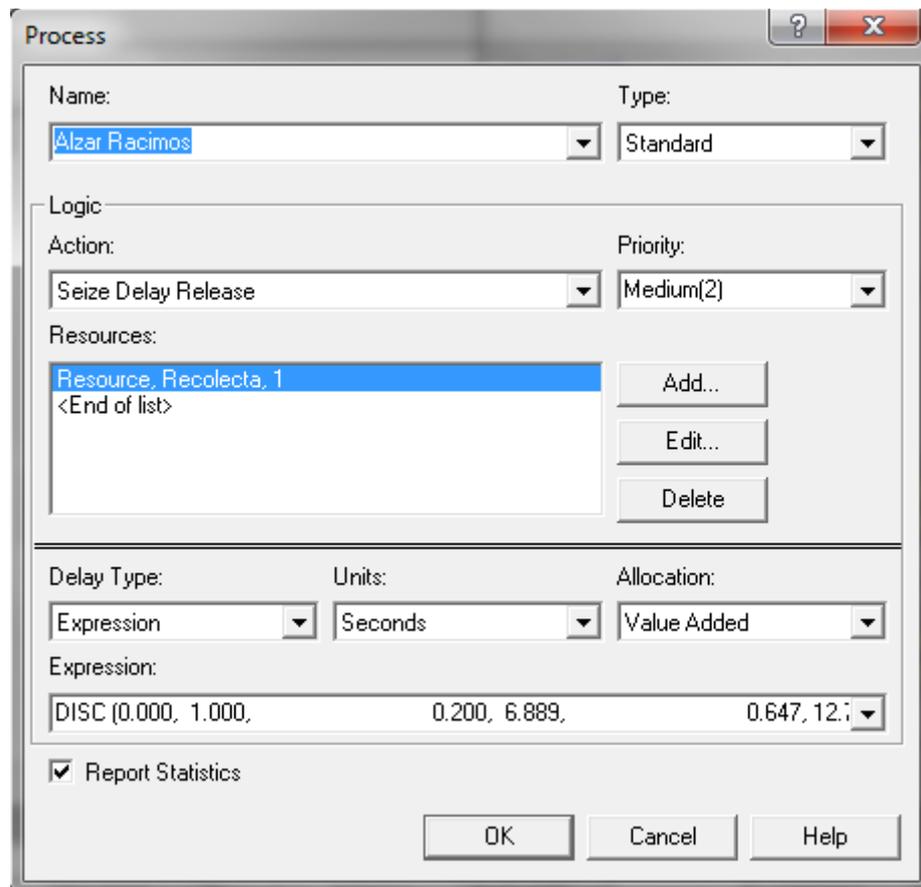
Figura 31. Módulo Caminar entre las Palmeras Recolector

Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize, Delay and Release. Lo que significa que esta actividad puede mantener una cola; utiliza un recurso Recolecta (representa al Recolector), y finalmente los libera para que continúen con el proceso. El tiempo de proceso depende de una expresión

(distribución de tiempo) y tiene como unidades a los segundos. Este módulo no mantiene una cola, ya que solo existe una entidad “Recolector” por cada réplica.

3.5.1.18. Alzar los Racimos Maduros

Este es un módulo de proceso que representa la actividad de “alzar los racimos maduros” realizada por el recolector. Dependiendo de la variante del proceso, se utilizarán dos diferentes distribuciones tiempo (Recolector con Burro o Recolector con Búfalo) presentadas en las secciones 3.4.5.2 y 3.4.6.2.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 32. Módulo Alzar Racimos

Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize Delay Release. Lo quiere decir que esta actividad puede mantener una cola, utiliza un recurso que este caso es Recolecta (representa al Recolector) para procesar a los

materiales, y finalmente los libera para que continúen con el proceso. La cola no es permitida, ya que el proceso es realizado por la entidad “Recolector”, el cual debe llegar al módulo “Recolector y Racimo” para que el “Racimo” pueda pasar y formar un Batch con el “Recolector” para ser procesado. El tiempo de proceso depende de una expresión (distribución de tiempo) y tiene como unidades, segundos.

3.5.1.19. Recoger Frutos Suelos

Este es un módulo de proceso que representa la actividad recoger frutos sueltos. En este módulo, dependiendo de la variante del proceso, se utilizarán dos diferentes distribuciones tiempo (Recolector con Burro o Recolector con Búfalo) presentadas en las secciones 3.4.5.3 y 3.4.6.3.

The screenshot shows the 'Process' dialog box with the following configuration:

- Name:** Recoger Frutos Suelos
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Seize Delay Release
 - Priority:** Medium(2)
 - Resources:** Resource, Recolecta, 1
- Delay Type:** Expression
- Units:** Seconds
- Allocation:** Value Added
- Expression:** DISC (0.000, 6.000, 0.625, 28.500, 0.825, 51.
- Report Statistics

Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 33. Módulo Recoger Frutos Suelos

Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize Delay Release. Lo que significa que esta actividad puede mantener una cola, utiliza un recurso que este caso es Recolecta (representa al Recolector) para procesar a los materiales, y finalmente los libera para que continúen con el proceso. La cola no es permitida, ya que se procesa al Batch formado por un “Recolector” y un “Racimos”, y como sólo existe un recolector en el sistema por réplica, no se puede formar más de un sólo grupo.

3.5.1.20. Llenar la Canastilla/Carreta

Este módulo tipo Batch, se encarga de reunir a todos los “Racimos” procesados hasta que se llene la canastilla o la carreta para que puedan ser transportados al tambo. El Batch que se forma es temporal, ya que una vez trasladados volverán a separarse en “Racimos”. El tamaño del Batch depende de la capacidad de carga de la Canastilla o la Carreta y del tamaño de los racimos, para determinar el número promedio de racimos, para cada una de las variantes de simulación estudiadas, se utilizó los datos de la producción del año 2010:

1. Cosechador utilizando palilla/podón y recolector utilizando burro (palmas menores a los 10 años).

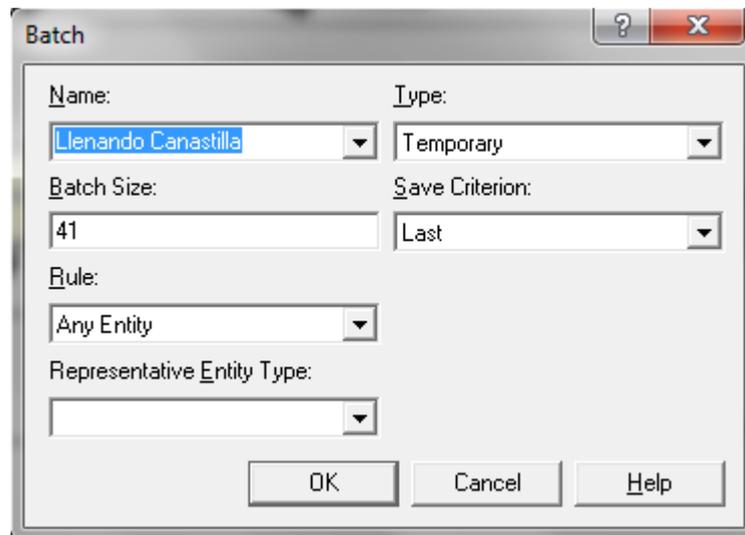
El burro con canastilla puede cargar 29 racimos de palmas jóvenes, los cálculos se muestran en el Anexo Q.

2. Cosechador utilizando malayo y recolector utilizando burro (palmas mayores a los 10 años).

El burro con canastilla puede cargar 15 racimos de palmas viejas, los cálculos se muestran en el Anexo R.

3. Cosechador utilizando malayo y recolector utilizando búfalo (palmas mayores a los 10 años).

El búfalo con carreta puede cargar 41 racimos de palmas viejas, los cálculos se muestran en el Anexo R.



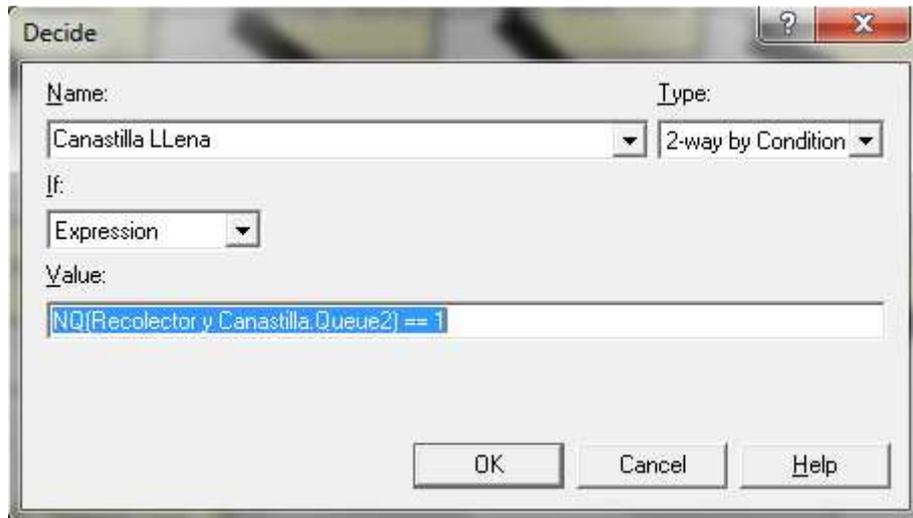
Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 34. Módulo Llenando Canastilla para Recolector con Búfalo.

3.5.1.21. Canastilla Llena

Este es un módulo de decisión, al que llega el “Recolector” después de haberse separado de la entidad “Racimos” en los módulos “Separate 4” y “Separa Racimos del Recolector”. La función de esta decisión es dirigir al cosechador hacia el módulo “Recolector y Canastilla” cuando la canastilla o la carreta hayan sido cargadas completamente. Para esto utiliza el número de entidades en la cola “Recolector y Canastilla.Queue2”, si este valor es igual a 1, quiere decir que el Batch del módulo “Llenando Canastilla” se completó y por lo tanto lo dejó pasar a la siguiente actividad.

En el caso de que “Recolector y Canastilla.Queue2” sea igual a cero el “Recolector” debe continuar con el proceso hasta que la canastilla se llene.

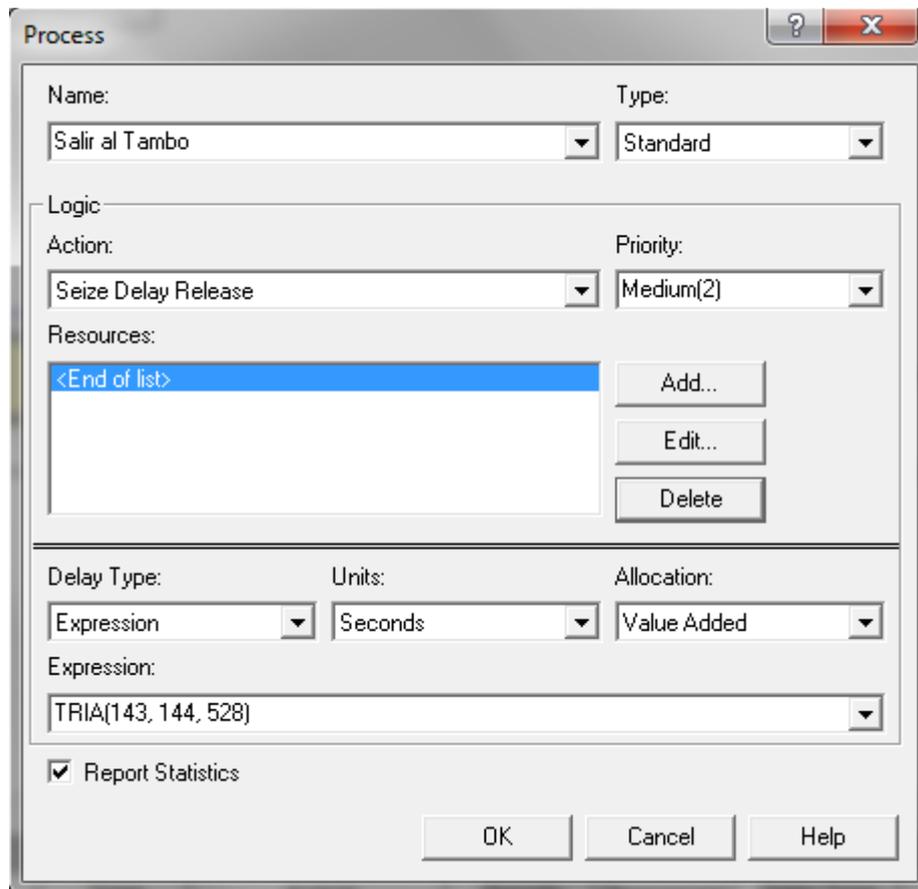


Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 35. Módulo Canastilla Llena.

3.5.1.22. Salir al Tambo

Este es un módulo de proceso que representa la actividad transportar los racimos y los frutos sueltos hasta el tambo. En este módulo utiliza la distribución presentada en la sección 3.4.6.4.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 36. Módulo Salir al Tambo

Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize Delay Release; puede mantener una cola, utiliza un recurso, que en este caso es Recolecta (representa al Recolector), para procesar a los materiales, y finalmente los libera para que continúen con el proceso. La cola no es permitida, ya que el proceso es realizado por la entidad “Recolector”, el cual debe llegar al módulo “Cosechador y Canastilla” y formar un Batch para después ser procesado. El tiempo de proceso depende de una expresión (distribución de tiempo) y tiene como unidades, segundos.

3.5.1.23. Record

A través de la simulación, se busca determinar si la capacidad de los dos recursos Cosechador y Recolector es suficiente para cumplir con el rendimiento esperado como grupo e individualmente. Para esto dentro de la simulación se decidió ubicar unos módulos tipo Record, los cuales son los encargados de contar diferentes variables de interés:

- # de Palmas sin Racimo.

Mide el número de palmas sin racimo que se generan diariamente. A estas palmas el cosechador debe caminar, sin embargo, no encontrara ningún racimos en estado de maduras.

- # de Racimos en Palmas.

Mide el número de racimos que el cosechador podría procesar diariamente.

- # de Racimos Cosechados.

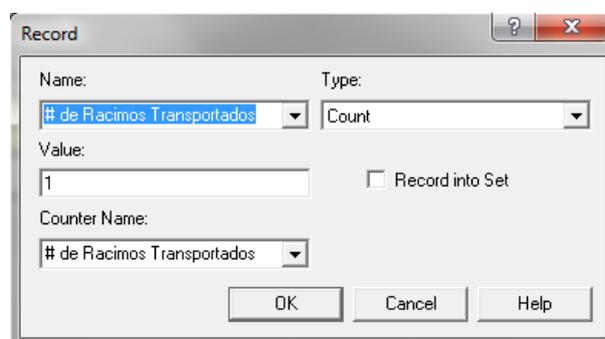
Mide el número real de racimos que el cosechador logra procesar.

- # de Racimos Recolectados.

Mide el número real de racimos que el recolector sube a su carreta o canastilla.

- # de Racimos Transportados.

Mide el número real de racimos que el recolector puede transportar hasta el tambo.



Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 37. Módulo Record # de Racimos Transportados.

3.5.2. Longitud de la Corrida

Para determinar la longitud de la corrida se tuvo que identificar si la simulación era de estado estable o con terminación. Dado que el periodo de interés de la simulación es una jornada de trabajo del cosechador y el recolector, se determinó que se trataba de una simulación con terminación. La variable de interés es la diferencia entre el número de racimos cosechados y el número de racimos recolectados; con el fin de conocer si el rendimiento del recolector durante las horas de trabajo es suficiente para recolectar todos los racimos y frutos sueltos que el cosechador procesa.

A través de consultas a los jefes de división y el director de la plantación de Quinindé se pudo establecer que el periodo de trabajo del proceso de cosecha y recolección de fruto es de siete horas, desde las siete de la mañana en la parcela que se debe cosechar y terminan a las tres de la tarde, se estimó una hora de descanso, que incluye al almuerzo. Esto se debe a las condiciones climáticas de la zona de Quinindé y la gran exigencia física que el trabajo en el campo tiene.

3.5.3. Número de Réplicas

Para determinar el número de réplicas se utilizó la ecuación [2] presentada en la sección 2.2.2.7.

$$n \approx z_{1-\alpha/2}^2 * \frac{S^2}{h^2}$$

El intervalo de confianza de la prueba es 0,95, lo que da un valor Z de 1,96, este intervalo es alto para tener mayor seguridad en los resultados de la prueba.

El estadístico que nos interesa medir es la diferencia entre los racimos cosechados y los racimos recolectados, como no se tiene una desviación estándar de referencia, se decidió correr los modelos por veinte réplicas con el fin de tener una aproximación inicial. En Arena se realizaron los siguientes cambios:

| | Name | Type | Expression | Report Label | Output | Categories |
|---|-------------|--------|---|--------------|---------|------------|
| 1 | Statistic 1 | Output | NC(# de Racimos Cosechados)-NC(# de Racimos Recolectados) | Statistic 1 | C:\User | 0 rows |

Double-click here to add a new row.
(Statistic 1)

Fuente: Modelo de Simulación de Arena.

Figura 38. Módulo Stastic de Arena

Además se considera que la mitad de intervalo de confianza esperado, de 5 unidades, permitirá concluir confiablemente sobre la diferencia entre la situación actual y las mejoras planteadas. Los resultados para las veinte corridas de aproximación, de las tres variantes del proceso se muestran a continuación:

Tabla 4. Diferencia entre los Racimos Cosechados y Recolectados

Fuente: Resultados del Modelo de Simulación de Arena.

| # | Malayo Búfalo | Malayo Burro | Palilla Burro |
|----------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | 22 | 24 | 23 |
| 2 | 47 | 49 | 35 |
| 3 | 5 | 26 | 55 |
| 4 | 14 | 37 | 2 |
| 5 | 54 | 18 | 28 |
| 6 | 24 | 25 | 22 |
| 7 | 44 | 29 | 45 |
| 8 | 52 | 4 | 57 |
| 9 | 38 | 34 | 31 |
| 10 | 5 | 17 | 5 |
| 11 | 45 | 39 | 43 |
| 12 | 44 | 34 | 48 |
| 13 | 21 | 6 | 3 |
| 14 | 49 | 33 | 69 |
| 15 | 36 | 36 | 32 |
| 16 | 32 | 48 | 39 |
| 17 | 6 | 51 | 42 |
| 18 | 65 | 48 | 26 |
| 19 | 49 | 48 | 45 |
| 20 | 48 | 28 | 51 |
| Promedio | 35,00 | 31,70 | 35,05 |

| | | | |
|------------|-------|-------|-------|
| Desv. Est. | 17,92 | 13,71 | 18,17 |
| h | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Z | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| # Réplicas | 49,37 | 28,87 | 50,75 |

El número de réplicas mayor es de 50, el cual va a ser utilizado para simular todas las variantes del proceso.

3.5.4. Análisis de los Resultados de la Simulación

En esta sección se analizan los resultados obtenidos de la simulación para las tres variantes planteadas:

3.5.4.1. Cosechador utilizando Malayo y Recolector utilizando Burro (palmas mayores a los 10 años)

El detalle de los resultados de la simulación se presenta en el Anexo S. Los elementos más relevantes son:

- Cada día el cosechador debe recorrer 182,94 palmas donde no encontrará racimos. Esto representa el 43% de los arboles asignados al grupo de cosecha.
- No existe una diferencia significativa entre el # de racimos en Palmas y el # de racimos cosechados, lo que significa que el rendimiento del cosechador le permite no dejar racimos sin cortar en el campo.
- Existe diferencia entre el # de racimos recolectados y el # de racimos transportados, sin embargo, al tratarse de 9 racimos, que ya están cargados sobre la canastilla, muy seguramente si serán transportados hasta el tambo.
- Finalmente, la gran cantidad de racimos no recogidos 19,48 con una mitad de ancho de intervalo de 3,32, lo cual representa el 6,60% de los racimos cosechados.

En la realidad no se dejan esta cantidad de racimos sin recoger, lo que sucede es que el recolector prefiere dejar de recoger los frutos sueltos, para reducir su tiempo de proceso dando prioridad a la recolección de racimos. Esto ocurre ya que el grupo de cosechador y recolector reciben su pago de acuerdo con las toneladas recogidas, y el peso de los racimos es muy superior al peso de los frutos sueltos. Como resultado, al final del día existen tanto racimos como frutos sueltos sin recoger, esto se puede comprobar en los datos de pérdidas presentados en la sección 1.5.

3.5.4.2. Cosechador utilizando Malayo y Recolector utilizando Búfalo (palmas mayores a los 10 años)

Los detalles de los resultados de la simulación se presentan en el Anexo T. los aspectos más relevantes son:

- Cada día el cosechador debe recorrer 181,18 palmas donde no encontrará racimos. Esto representa el 43% de los arboles asignados al grupo de cosecha.
- No existe una diferencia significativa entre el # de racimos en Palmas y el # de racimos cosechados, lo que significa que el rendimiento del cosechador le permite no dejar racimos sin cortar en el campo.
- Existe diferencia entre el # de racimos recolectados y el # de racimos transportados, sin embargo, al tratarse de 17 racimos, que ya están cargados sobre la canastilla, seguramente serán transportados hasta el tambo.
- Finalmente, lo más importante es la gran cantidad de racimos no recogidos 44,72 con una mitad de ancho de intervalo de 4,20, que es el 15,01% de los racimos cosechados.

Al igual que el escenario anterior, en la realidad no se dejan esta cantidad de racimos sin recoger, lo que ocurre es que el recolector prefiere dejar de recoger los frutos sueltos, para reducir su tiempo de proceso dando prioridad a la

recolección de racimos. Esto se puede comprobar en los datos de pérdidas presentados en la sección 1.5.

3.5.4.3. Cosechador utilizando Palilla/Podón y recolector utilizando Burro (palmas menores a los 10 años)

El detalle de los resultados de la simulación se presenta en el Anexo U. Los factores más relevantes son:

- Cada día el cosechador debe recorrer 201,32 palmas donde no encontrará racimos. Esto representa el 43% de los arboles asignados al grupo de cosecha.
- No existe una diferencia significativa entre el # de racimos en Palmas y el # de racimos cosechados, lo que significa que el rendimiento del cosechador le permite no dejar racimos sin cortar en el campo.
- Existe diferencia entre el # de racimos recolectados y el # de racimos transportados, sin embargo, al tratarse de 15 racimos, que ya están cargados sobre la canastilla, muy seguramente si serán transportados hasta el tambo.
- Finalmente, la gran cantidad de racimos no recogidos 26,26 con una mitad de ancho de intervalo de 3,71; el 7,88% de la producción potencial del grupo de cosecha.

Al final del día existen tanto racimos como frutos sueltos sin recoger, esto se puede comprobar en los datos de pérdidas presentados en la sección 1.5.

Las tres variantes de simulación muestran que la dirección de la propuesta de mejora, la cual debe enfocarse en reducción de los racimos y frutos sueltos sin recoger, producto de la capacidad productiva inferior del recolector comparada con el cosechador.

4. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE COSECHA Y RECOLECCION DE FRUTO

Dentro de este capítulo se presentará: el análisis para identificar una alternativa de mejora del proceso de cosecha y recolección de fruto; la evaluación mediante simulación de la propuesta de mejora; el análisis de factibilidad financiera de dicha alternativa; y finalmente se presentará una propuesta adicional para el control de calidad del fruto recolectado.

4.1. Identificación de la Propuesta de Mejora

En los capítulos anteriores se pudieron identificar los factores que se citan a continuación dentro del proceso de recolección y cosecha de fruto que direccionarán la propuesta de mejora:

- Gran Cantidad de racimos dejados en el campo sin recoger.

La empresa tiene un estimado de 35,23 kg por hectárea correspondientes a los racimos que no se recogen cada mes. Esto implica que la empresa pierde \$277.362 dólares anuales. Estos valores fueron estimados por la empresa, en base a muestreos realizados en el campo (Informe Bimensual de Agotados Diciembre 2010).

- Gran cantidad de frutos sueltos dejados en el suelo de la plantación.

La empresa ha estimado que no se recogen 2,89 kg de fruto suelto por hectárea durante cada mes. Esto implica que la empresa deja de ganar \$230.279 dólares anualmente. A diferencia de los racimos no recogidos, el frutos suelto son donde se aloja la mayor cantidad de aceite. Estos valores fueron estimados por la empresa, en base a muestreos realizados en el campo (Informe Bimensual de Agotados Diciembre 2010).

- Los grupos de cosecha reciben su pago de acuerdo a las toneladas recogidas, por lo tanto la prioridad de los recolectores son los racimos y dejan en segundo plano a los frutos sueltos.

- La capacidad productiva de recolector es menor a la capacidad del cosechador, lo que provoca que al final del día, no recoja todos los frutos sueltos y racimos cosechados para terminar al mismo tiempo.
- El cosechador y el recolector pierden mucho de su tiempo caminando por palmas que no tienen fruto.
- El cuello de botella o el recurso de menor capacidad de la empresa es la producción de la plantación, por lo que un aumento en la recolección de frutos sueltos y racimos dejados asegura un incremento en la producción de todo el sistema.
- La demanda de aceite crudo de palma africana es creciente, por lo que los precios de venta de este producto aumentan continuamente.

La propuesta de mejora contempla la inclusión de un recolector de frutos sueltos dentro del grupo de cosecha. Esta tercera persona utilizaría un burro, ya que el tamaño y peso de los frutos sueltos no justifica el usar un búfalo que soporta una mayor carga. Este obrero recibiría su pago de acuerdo al peso que logre recolectar durante el día. De esta manera se disminuye la carga de trabajo del recolector, que alcanzaría a recoger todos los racimos que el cosechador corte.

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la propuesta de mejora.

Figura 39. Flujograma la propuesta de mejora del Proceso de Cosecha y Recolección del fruto.

Fuente: Observación del Proceso de Cosecha y Recolección de Fruto

La demanda creciente del mercado, el aumento en el precio de la tonelada de aceite crudo de palma, y la gran cantidad de dinero que deja de ganar la empresa por racimos y fruto suelto que no se recoge justifican plenamente la inclusión de más personal para el proceso de recolección y cosecha. Además como se demostró en el capítulo anterior no se está subutilizando a los recursos: cosechador y recolector, sino que están plenamente ocupados (su tasa de ocupación en las tres variantes rodea el 95%).

A pesar de que el recolector y el cosechador pierden mucho tiempo, ya que deben caminar por palmas que no tienen fruto. La producción de racimos por planta no se puede predecir con anterioridad, esto impide que se determinen rutas más efectivas que reduzcan dichos tiempos muertos.

En el modelo de simulación propuesto que se presenta en la siguiente sección se establece la utilización de este nuevo recurso, dedicado a la labor de recolección de frutos sueltos, lo que permitirá establecer: el pago diario para el recolector de fruto suelto; y la cantidad de obreros necesarios para cumplir con las necesidades de la plantación. Además, se evaluará la eficacia de la propuesta planteada, con el fin de obtener una reducción significativa de los racimos y frutos sueltos actualmente dejados en el campo.

4.2. Evaluación de la Propuesta de Mejora

Para evaluar la propuesta de mejora se modifica el modelo de simulación presentado en el capítulo anterior, y se determinan nuevamente las medidas de desempeño para las tres variantes del proceso.

4.2.1. Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora

El nuevo de modelo de simulación que se utilizará para evaluar la alternativa de mejora, incluye a un nuevo recurso “Recoge”, que representa al Recolector de fruto suelto, quien deberá realizar las actividades de “Recoger los Frutos Suelos” antes realizada por Recolector; y “Caminar entre las Palmas Fruto Suelto”. El

modelo de la alternativa de mejora completo se encuentra en el Anexo V. Los módulos incluidos se presentan en la siguiente figura:

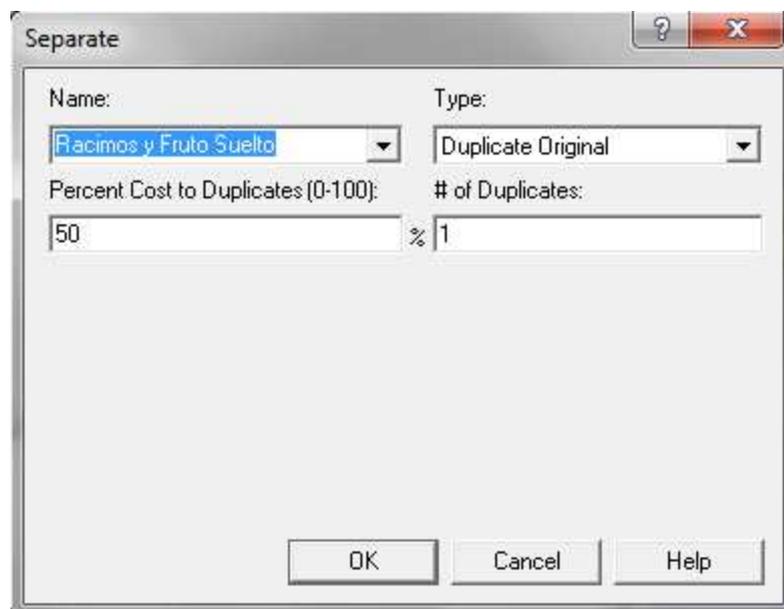
Figura 40. Simulación de la Propuesta de Mejora

Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora, Software Arena

Como se puede ver en el Anexo V se retiró la actividad de “Recoger Frutos Suelos” que ya no será realizada por el Recolector, que sólo se encargará de alzar los racimos y transportarlos al tambo. El nuevo modelo parte del módulo “Separa Racimos y Recolector”, el cual ya era parte de la simulación de estado actual del proceso presentada en el capítulo anterior. A partir de este módulo se detalla a continuación lo que se ha incluido.

4.2.1.1. Racimos y Fruto Suelto

Este es un módulo tipo Separate que es el encargado de duplicar el número de racimos, una de las réplicas se tomará como racimos, mientras la otra réplica se la utilizará para representar a los frutos sueltos. En la simulación de estado actual del proceso de recolección y cosecha no fue necesaria una representación de los frutos sueltos, ya que estos eran recogidos por el Recolector. Para la simulación de la propuesta de mejora se necesitó la inclusión de esta nueva entidad.

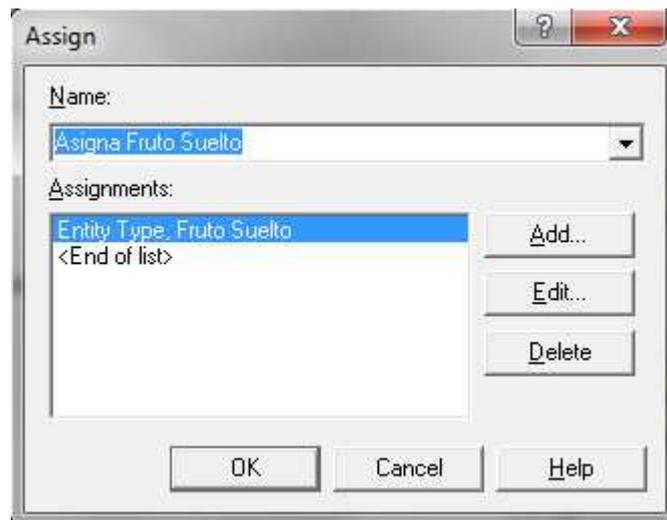


Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 41. Módulo Racimos y Fruto Suelto.

4.2.1.2. Asigna Fruto Suelto

En este módulo, de tipo Assign, a la entidad “Racimos” que fue duplicada en el módulo anterior (Racimos y Fruto Suelto), se la asigna un nuevo tipo de entidad llamado “Fruto Suelto”; para diferenciar los resultados obtenidos de “Racimos” del “Fruto Suelto”.

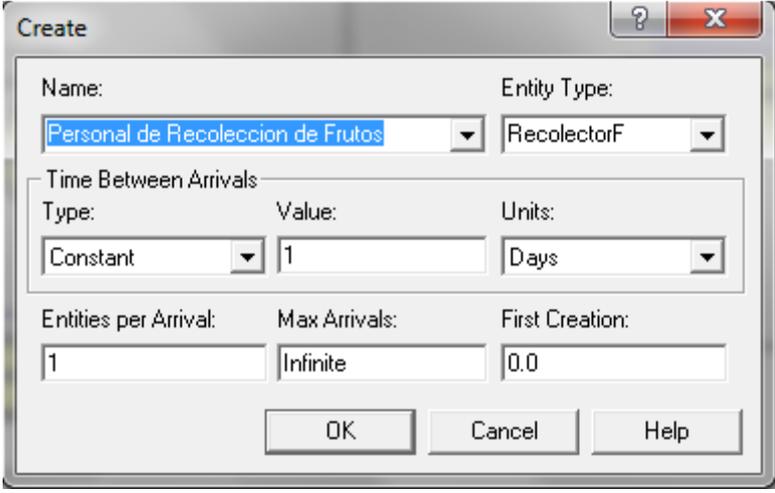


Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 42. Módulo Asigna Fruto Suelto.

4.2.1.3. Personal Recolección

Este módulo es el encargado de crear una vez al día un “RecolectorF” que realizará las actividades de: caminar entre las palmas, y recoger los frutos sueltos. A pesar de tratarse de la creación de una entidad, la simulación está diseñada para utilizar al “RecolectorF” como un recurso que debe recorrer por los diferentes módulos de proceso junto con el “Fruto Suelto” para que sea procesado.



The image shows a 'Create' dialog box with the following fields and values:

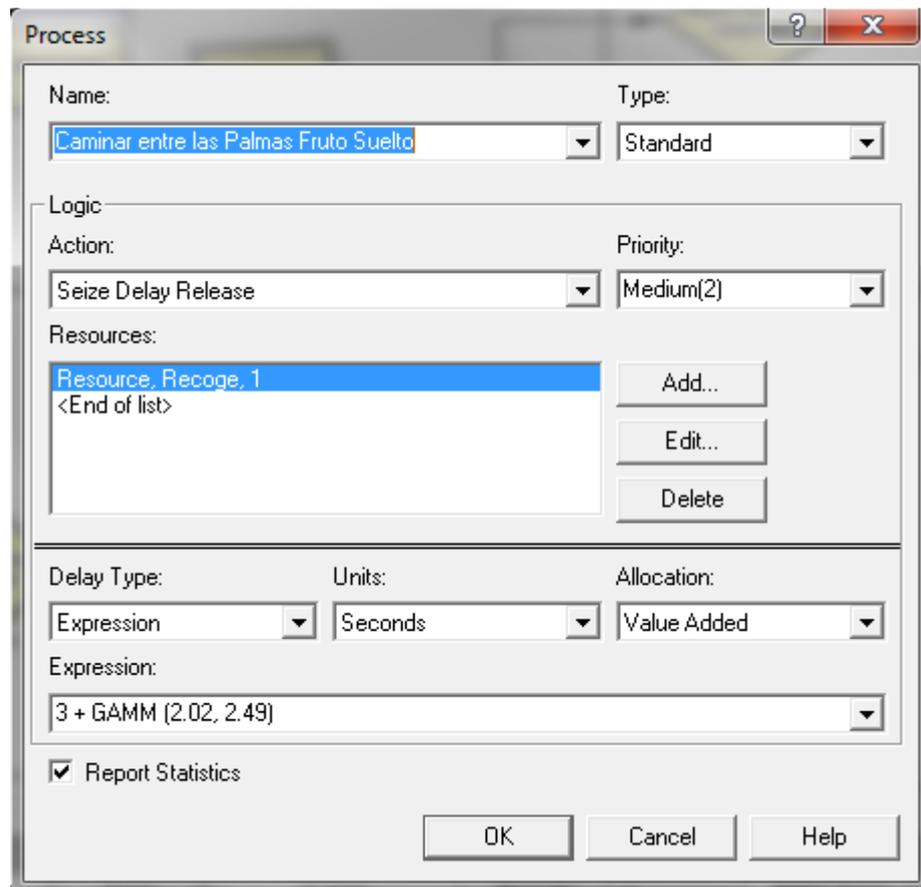
| Field | Value |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Name | Personal de Recoleccion de Frutos |
| Entity Type | RecolectorF |
| Time Between Arrivals Type | Constant |
| Time Between Arrivals Value | 1 |
| Time Between Arrivals Units | Days |
| Entities per Arrival | 1 |
| Max Arrivals | Infinite |
| First Creation | 0.0 |

Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 43. Módulo Personal Recolección

4.2.1.4. Caminar Entre las Palmas Recolector

Este es un módulo de proceso que representa la actividad de caminar entre las palmeras realizada por el recolector de fruto suelto. En este módulo, dependiendo de la variante del proceso, se utilizarán la distribución tiempo del Recolector con burro presentada en las sección 3.4.5.1.



Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 44. Módulo Caminar entre las Palmeras Recolector de Fruto Suelto

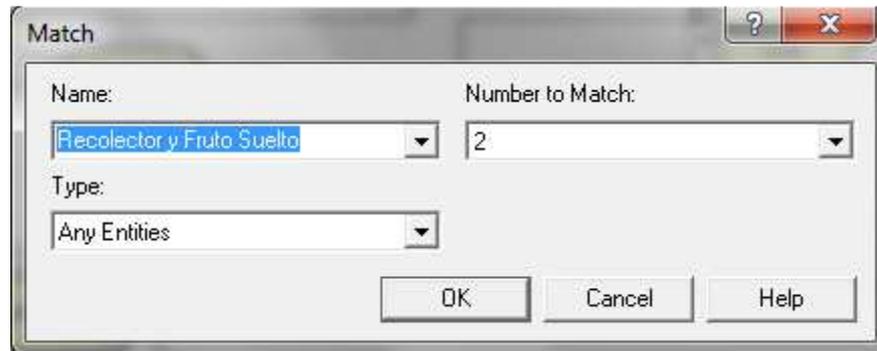
Este es un módulo que, como se puede ver, tiene una lógica de Seize, Delay and Release, lo que significa que esta actividad puede mantener una cola; utiliza un recurso Recoge (representa al Recolector de Fruto Suelto), y finalmente los libera para que continúen con el proceso.

El tiempo de proceso depende de una expresión (distribución de tiempo) y tiene como unidades a los segundos. Este módulo no mantiene una cola, ya que solo existe una entidad “RecolectorF” por cada réplica.

4.2.1.5. Cosechador y Palma

El módulo Match detiene a la entidad “RecolectorF” o a la entidad “Fruto Suelto” hasta que no llegue el otro, es decir hasta que no se complete una pareja

entre las dos entidades. Como la creación de un recolector de fruto suelto ocurre una sola vez por día, y la creación de los frutos suelto depende de los procesos anteriores, generalmente la entidad “Fruto Suelto” va a esperar por el “RecolectorF”.

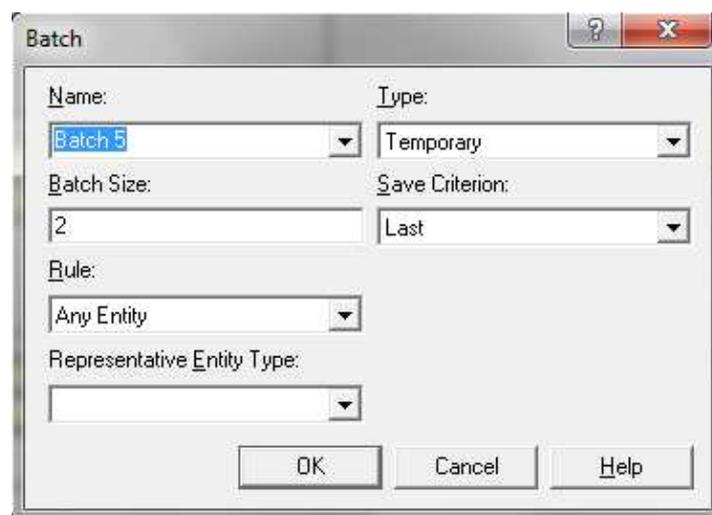


Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 45. Módulo Recolector y Fruto Suelto.

4.2.1.6. Batch 5

Este es el encargado de agrupar al recolector de fruto suelto “RecolectorF” con los frutos sueltos “Fruto Suelto”. Está ubicado después de los módulos Match (véase el punto anterior). Este agrupamiento es temporal mientras ocurre la actividad “Recoger Frutos Suelto”.



Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 46. Módulo Batch 5.

4.2.1.7. Recoger Frutos Suelos

Este es un módulo de proceso que representa la actividad recoger frutos sueltos, es el mismo que se presentó en la simulación del estado actual del proceso. Sin embargo, en esta ocasión esta actividad es realizada por el Recolector de frutos sueltos, que se representa por el Resource “Recoge”. En este módulo, se utilizan la distribución tiempo del Recolector con Burro presentadas en las secciones 3.4.5.3.

The image shows a screenshot of the 'Process' dialog box in the Arena simulation software. The dialog is titled 'Process' and contains the following fields and controls:

- Name:** Recoger Frutos Suelos
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Seize Delay Release
 - Priority:** Medium(2)
 - Resources:** Resource, Recoge, 1; <End of list>
- Delay Type:** Expression
- Units:** Seconds
- Allocation:** Value Added
- Expression:** DISC (0.000, 8.000, 0.533, 38.000, 0.800, 68.
- Report Statistics:**

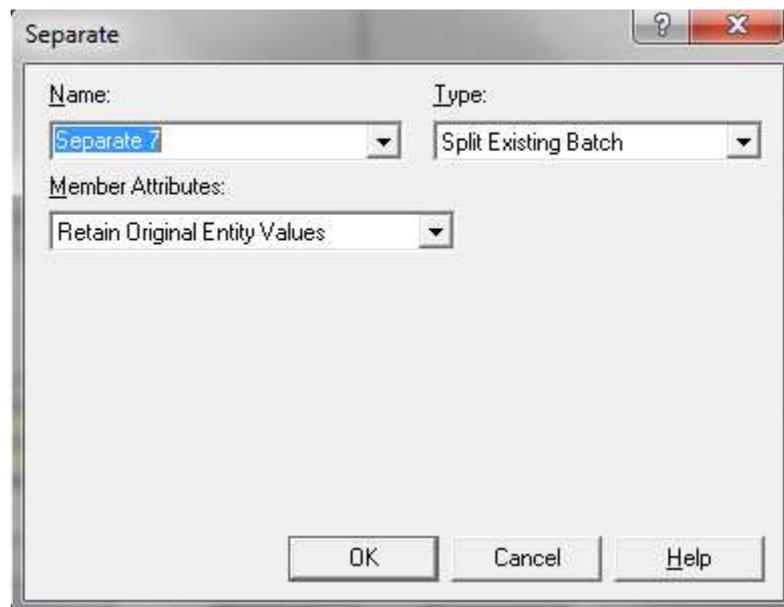
Buttons for 'Add...', 'Edit...', 'Delete', 'OK', 'Cancel', and 'Help' are also visible.

Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 47. Módulo Recoger Frutos Suelos

4.2.1.8. Separate 7

Dado que el módulo Batch 5, presentados en la sección 4.2.1.6, es de tipo temporal, las entidades “Fruto Suelto” y “RecolectorF” son separadas nuevamente utilizando este módulo Separate 7.



Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 48. Módulo Separate 7

4.2.1.9. Separa Fruto Suelto del Recolector

Este módulo de decisión, que actúa después del módulo Separate 7, es el encargado de direccionar al “Fruto Suelto” hacia el módulo Dispose “Transporte de Fruto Suelto a la Extractora” y al “RecolectorF” hacia el módulo “Caminar entre las Palmas Fruto Suelto” para que vuelva a iniciar el proceso.



Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 49. Módulo Separa Fruto Suelto del Recolector

4.2.1.10. # de Grupos de Fruto Suelto Recolectados

A través de la simulación, se busca determinar si la capacidad del recurso recolector de fruto suelto es suficiente para cumplir con el rendimiento esperado como grupo e individualmente. Para esto, dentro de la simulación, se decidió ubicar un módulo tipo Record, el cual es el encargado de contar el número de grupos de fruto suelto procesados diariamente por este obrero.



Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 50. Módulo # de Grupos de Fruto Suelto Recolectados

4.2.1.11. Transporte de Fruto Suelto a la Extractora

Este es un módulo Dispose donde el “Fruto Suelto” que ya pasó por todo el proceso, sale de la simulación.



Fuente: Modelo de Simulación de la Propuesta de Mejora en Arena.

Figura 51. Módulo Transporte de Fruto Suelto a la Extractora

4.2.2. Análisis de Resultados de la Simulación de la Propuesta de Mejora

En esta sección se analizan los resultados obtenidos de la simulación para las tres variantes planteadas:

4.2.2.1. Cosechador utilizando Malayo y Recolector utilizando Burro (palmas mayores a los 10 años)

Los resultados de la simulación se presentan en el Anexo W. Se observa que:

- Cada día el cosechador debe recorrer 181,00 palmas donde no encontrará racimos, no existe una diferencia significativa con los resultados de la simulación del estado actual.
- No existe una diferencia significativa entre el # de racimos en Palmas y el # de racimos cosechados, lo que significa que el rendimiento del cosechador le permite no dejar racimos sin cortar en el campo.

- Existe diferencia entre el # de racimos recolectados y el # de racimos transportados, sin embargo, al tratarse de 10 racimos, que ya están cargados sobre la canastilla, sí serán transportados hasta el tambo.
- Con la inclusión de un obrero que se dedique a la recolección del fruto suelto, los racimos no recogidos bajan de 19,48 a 0,32 con un ancho de la mitad del intervalo de 0,23.

Lo que permite concluir que el desempeño de la propuesta de mejora es significativamente mejor al de la simulación del estado actual.

- El número de grupos de fruto suelto recolectados fue 299,30 con un ancho de intervalo de 3,98; y el número de racimos recolectados fue de 300,04 con un ancho de intervalo de 4,00.

Por lo tanto se puede concluir estadísticamente que todos los frutos sueltos del día fueron recolectados, sin dejar nada en el campo. Como resultado, se puede afirmar que el recolector de frutos sueltos permite que todos los racimos y frutos sueltos sean recogidos y transportados hasta la extractora.

- La Utilización de los recursos fue: Cosechador (Cosecha) 0,9111; Recolector de Racimos (Recolecta) 0,4969; Recolector de Fruto Suelto (Recoge) 0,6545.

Lo que significa que tanto el recolector de racimos y el de fruto suelto tienen tiempo libre, el cual se podría utilizar en mayores rendimientos diarios.

4.2.2.2. Cosechador utilizando Malayo y Recolector utilizando Búfalo (palmas mayores a los 10 años)

Los resultados de la simulación se presentan en el Anexo X. Se puede apreciar que:

- Cada día el cosechador debe recorrer 180,56 palmas donde no encontrará racimos, no existe una diferencia significativa con los resultados de la simulación del estado actual.

- No existe una diferencia significativa entre el # de racimos en Palmas y el # de racimos cosechados, lo que significa que el rendimiento del cosechador le permite no dejar racimos sin cortar en el campo.
- Existe diferencia entre el # de racimos recolectados y el # de racimos transportados, sin embargo, al tratarse de 20 racimos, que ya están cargados sobre la canastilla, muy seguramente si serán transportados hasta el tambo.
- Los racimos no recogidos bajan de 44,72 (simulación del estado actual) a 0,22 con un ancho de la mitad del intervalo de 0,27.

Lo que permite concluir estadísticamente que el desempeño de la simulación de la propuesta es significativamente superior al de la simulación del estado actual.

- El número de grupos de fruto suelto recolectados fue 298,20 con un ancho de intervalo de 4,36; y el número de racimos recolectados fue de 299,94 con un ancho de intervalo de 4,53.

Por la tanto se puede concluir estadísticamente que todos los frutos sueltos del día fueron recolectados.

- La Utilización de los recursos fue: Cosechador (Cosecha) 0,9074; Recolector de Racimos (Recolecta) 0,4223; Recolector de Fruto Suelto (Recoge) 0,8366.

Lo que significa que el recolector de racimos no se encuentra ocupado durante todo el jornal.

4.2.2.3. Cosechador utilizando Palilla/Podón y recolector utilizando Burro (palmas menores a los 10 años)

Los resultados de la simulación se presentan en el Anexo Y. Los aspectos más relevantes son:

- Cada día el cosechador debe recorrer 259,62 palmas donde no encontrará racimos, no existe una diferencia significativa con los resultados de la simulación del estado actual.
- No existe una diferencia significativa entre el # de racimos en Palmas y el # de racimos cosechados, lo que significa que el rendimiento del cosechador le permite no dejar racimos sin cortar en el campo.
- Existe diferencia entre el # de racimos recolectados y el # de racimos transportados, sin embargo, al tratarse de 15 racimos, que ya están cargados sobre la canastilla, serían transportados hasta el tambo.
- Finalmente, lo más importante, es que con la inclusión de un obrero que se dedique a la recolección del fruto suelto, los racimos no recogidos bajan de 26,26 a 0,00 con un ancho de la mitad del intervalo de 0,00.

Lo que permite concluir que este indicador es significativamente superior en la propuesta de mejora en comparación al estado actual del proceso.

- El número de grupos de fruto suelto recolectados fue 420,84 con un ancho de intervalo de 4,34; y el número de racimos recolectados fue de 426,80 con un ancho de intervalo de 5,50.

Se puede afirmar que el recolector de frutos sueltos permite que todos los racimos y frutos desprendidos sean recogidos y transportados hasta la extractora.

- La Utilización de los recursos fue: Cosechador (Cosecha) 0,6709; Recolector de Racimos (Recolecta) 0,5676; Recolector de Fruto Suelto (Recoge) 0,9208.

Por lo tanto, el recolector de racimos y el cosechador podrían incrementar sus rendimientos diarios.

4.3. Análisis de Factibilidad Financiera de la Propuesta de Mejora

La propuesta de mejora presentada en las secciones anteriores, es incluir una tercera persona en cada grupo de cosecha, quien se encargará de recolectar

todos los frutos sueltos. Es importante evaluar la factibilidad económica de este cambio, para lo que se debe estimar el costo que la inclusión de este obrero tendría para la empresa.

Actualmente, el número de obreros empleados en el proceso de cosecha es de 164 personas (Informe Mensual Diciembre 2010), de los cuales 114 son parte de los grupos de cosecha y el resto dedican a actividades complementarias y de control, es decir se tienen 57 grupos, así el número de personas que se necesitará para la recolección de fruto suelto es 57.

Cabe mencionar que de acuerdo a la utilización de los recursos cosechador, recolector de racimos y recolector de fruto suelto para las diferentes variantes del proceso es probable que se necesite una cantidad menor de obreros, esto se puede verificar en las secciones 4.2.2.1, 4.2.2.2, y 4.2.2.3. Sin embargo, se utilizará el número actual de obreros.

4.3.1. Costos de la Propuesta de Mejora

La remuneración del cosechador y el recolector se basan en las toneladas de fruto recogidos durante el día, de tal manera que todos los obreros puedan obtener el sueldo básico unificado, si se tiene un desempeño estándar. De la misma manera la remuneración del cosechador de fruto suelto deberá establecerse de acuerdo a los kg de fruto suelto, que un obrero con un rendimiento estándar, es capaz de recolectar; de tal manera que su sueldo mensual sea aproximadamente un sueldo básico unificado. Por ejemplo si se determinaría que el rendimiento estándar diario del recolector de fruto suelto es de 200kg, este obrero deberá obtener dicha cantidad todos los días para ganar el sueldo básico unificado de 264 dólares.

Dado que cada recolector de fruto ganará mensualmente un sueldo básico unificado, y se atribuye aproximadamente un costo de 120 dólares al año para uniformes y equipos, de acuerdo con el Jefe de Recursos Humanos de la Plantación. Se tendrá el costo mensual total por trabajador que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 5. Costo Mensual Total Por Trabajador

Fuente: Apuntes de Clase de Seguridad Industrial, Alba María Cabezas

| | | |
|---|--------------------------------------|------------------|
| A | Remuneración básica mínima unificada | \$ 264,00 |
| B | Decimotercera remuneración | \$ 22,00 |
| C | Decimocuarta remuneración | \$ 22,00 |
| D | Fondo de Reserva | \$ 22,00 |
| | Ingreso Real Mensual | \$ 330,00 |
| E | Aporte al IESS (11,15%) | \$ 29,43 |
| F | CNCF | \$ 1,32 |
| F | IECE | \$ 1,32 |
| G | Vacaciones | \$ 11,00 |
| | Uniformes y Equipos (Estimado) | \$ 10,00 |
| | Costes Adicionales | \$ 53,07 |
| | COSTO TOTAL POR TRABAJADOR | \$ 383,07 |

- a) Remuneración básica unificada (SBU) que recibirá el obrero, este valor se mantendrá durante todo el 2011.
- b) Bono que la empresa debe pagar cerca de navidad, que se calcula como la doceava parte de la remuneración que el trabajador ha recibido durante el año.
- c) Bono que los trabajadores reciben para los gastos del ingreso a clases de sus hijos, es una remuneración básica unificada.
- d) Beneficio que tienen los trabajadores, el cual obliga al empleador a pagar la doceava parte de la remuneración que el obrero ha recibido durante el año.
- e) La empresa debe entregar mensualmente al seguro social ecuatoriano (IESS) el 11,15% del sueldo del trabajador.
- f) El Concejo Nacional de Capacitación y Formación Profesional y el Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo y Becas reciben el 0,5% de la remuneración del trabajador respectivamente.

g) Dado que las vacaciones del trabajador (15 días) deberán ser pagadas la empresa debe asumir esto como costo adicional.

Los 57 nuevos obreros tendrán para la empresa un costo mensual total de 21.835,33 dólares, el cual ya considera los equipos que necesitarían para realizar su labor. Este valor se mantendrá hasta la próxima revisión de la remuneración básica unificada, la cual ocurre al inicio de cada año.

Para determinar el la tasa de crecimiento del valor del SBU para el próximo año se analizaron los incrementos registrados desde el 2007 (Inicio el mandato del Presidente Rafael Correa), los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Variación del Salario Básico Unificado

Fuente: Instructivos Salariales, Cámara de Comercio de Quito

| Año | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Salario Básico Unificado | \$ 170,00 | \$ 200,00 | \$ 218,00 | \$ 240,00 | \$ 264,00 | \$ 290,40 |
| Incremento % | | 17,65% | 9,00% | 10,09% | 10,00% | |

Como se puede ver durante los últimos tres años se ha mantenido un incremento cercano al 10% del Salario Básico Unificado, si esta tendencia se conserva el SBU para el 2012 sería de 290,40 dólares. Esto provoca un aumento del costo total por trabajador a 420,38 dólares, lo que significaría costo mensual total para la propuesta de 23.961,87 dólares a partir del 2012

4.3.2. Beneficios de la Propuesta de Mejora

Según la simulación del proceso de cosecha y recolección de fruto mejorado para todas sus variantes, se podría obtener una reducción total de los racimos dejados y de los frutos sueltos no recolectados. Esta reducción de producto no recogido implica que la empresa podría ingresar 42303,42 dólares adicionales cada mes, de acuerdo a los datos presentados en la sección 1.5.

Para calcular esta pérdida de potencial, la empresa utilizó los precios del aceite crudo de palma del año 2010 (el precio promedio fue de 891.47 dólares por tonelada con tendencia a crecer como se muestra en la figura 7). Según la opinión

del director de la plantación y el subgerente agrícola se espera que el precio de mantenga o aumente en los próximos años. El precio del aceite crudo durante los dos primeros meses del 2011 ha aumentado a 1224.00 dólares por tonelada.

Cabe mencionar que el valor del aceite crudo de palma se rige por el comportamiento de los mercados internacionales, principalmente de Malasia e Indonesia, por lo que la variación del mercado local o la inflación no son buenos indicadores de para predecir el precio local futuro del aceite crudo de palma.

Debido a la poca información que se tienen sobre cómo se comportará los mercados internacionales del aceite crudo de palma y la variaciones grandes que ha tenido su precio en los últimos años, para este análisis se utilizará el valor promedio del 2010. Además, se evaluará al proyecto por un periodo corto de tiempo con el fin de asegurar resultados cercanos a la realidad actual de la empresa.

4.3.3. Periodo de Duración del Proyecto

Como los beneficios de la propuesta depende del precio del aceite, se necesita utilizar un periodo de duración corto, dentro del cual se pueda tener una estimación confiable del valor de la tonelada de aceite crudo de palma. Para esto se evaluará a la propuesta por un periodo de un año.

Esto no significa que dentro de un año el proyecto ya no tenga validez, sino que se debe repetir el mismo análisis para confirmar que la propuesta continúa siendo económicamente viable.

4.3.4. Tasa de Descuento (Costo de Oportunidad)

La empresa no tiene definida una tasa de descuento para evaluar sus proyectos. Por lo que se utilizará 10,21%, la Tasa Activa Efectiva Máxima Referencial propuesta por el Banco Central del Ecuador para el segmento Productivo Empresarial de marzo del 2011 (Tasas de Interés Marzo 2011, Banco Central del Ecuador).

4.3.5. Análisis de Costo/Beneficio de la Propuesta de Mejora

Para determinar el índice B/C presentado en la sección 2.4.1 se debe determinar el valor presente de los costos y los beneficios de cada periodo. Estos cálculos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7. Determinación del Valor Presente de los Costos y los Beneficios.

Fuente: Tomado de Ejercicios de Clase de Ingeniería Económica, Ángel Villablanca

| Fecha | # | Costo | Beneficio | Valor Presente Costo | Valor Presente Beneficios |
|--------|----|---------------|--------------|----------------------|---------------------------|
| abr-11 | 1 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 21.651,12 | \$ 41.946,52 |
| may-11 | 2 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 21.468,45 | \$ 41.592,64 |
| jun-11 | 3 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 21.287,33 | \$ 41.241,74 |
| jul-11 | 4 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 21.107,74 | \$ 40.893,80 |
| ago-11 | 5 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 20.929,67 | \$ 40.548,80 |
| sep-11 | 6 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 20.753,09 | \$ 40.206,71 |
| oct-11 | 7 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 20.578,01 | \$ 39.867,50 |
| nov-11 | 8 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 20.404,40 | \$ 39.531,16 |
| dic-11 | 9 | -\$ 21.835,33 | \$ 42.303,42 | -\$ 20.232,26 | \$ 39.197,65 |
| ene-12 | 10 | -\$ 23.961,87 | \$ 42.303,42 | -\$ 22.015,36 | \$ 38.866,96 |
| feb-12 | 11 | -\$ 23.961,87 | \$ 42.303,42 | -\$ 21.829,63 | \$ 38.539,06 |
| mar-12 | 12 | -\$ 23.961,87 | \$ 42.303,42 | -\$ 21.645,46 | \$ 38.213,92 |
| Total | | | | -\$ 253.902,52 | \$ 480.646,47 |

Después se debe sumar para obtener el valor presente total de los costos y valor presente total de los beneficios para esto se utilizo la Ecuación [3], los cuales son las entradas para obtener el B/C (Ecuación [4]) que se muestra a continuación.

$$B/C \text{ de la Propuesta} = \frac{\text{Valor Presente de los Beneficios}}{\text{Valor Presente de los Costos}} = \frac{\$ 480.646,47}{\$ 253.902,52} = 1,89$$

$$VPN = \$ 480.646,47 - \$ 253.902,52 = \$ 226.743,96$$

Como conclusión se obtiene que el proyecto es económicamente aceptable dado que el costo / beneficio es mayor a uno. Y puede generar 226.743,96 dólares para la empresa durante el año de duración.

4.4. Propuesta para el Control de la Calidad de Fruta

Adicionalmente a la propuesta de mejora del proceso de recolección y cosecha de fruto, que se presenta en las secciones anteriores, en el presente trabajo también se realizó un análisis con el fin de mejorar la el control de calidad de la fruta que actualmente realiza la plantación de ABC. Se propone esta herramienta debido a los siguientes factores presentados en la sección 1.5:

- Gran cantidad de racimos verdes recolectados.

La plantación tiene un promedio de 2,28% de racimos verdes recolectados para el 2010, lo que le significa una merma en su producción de \$164.949 dólares anuales. Estos valores fueron estimados por la empresa y se presentan en Informe Bimensual de Agotados Diciembre 2010.

- Gran cantidad de racimos podridos recolectados.

La empresa recolectó un promedio de 1,36% de racimos podridos para el 2010, lo que le significa una pérdida del potencial de producción de \$80.768 dólares anualmente. Estos valores fueron estimados por la empresa y se presentan en Informe Bimensual de Agotados Diciembre 2010.

Cabe aclarar que la cosecha de racimos verdes y podridos depende exclusivamente del cosechador, el cual como se puede ver en el flujograma del proceso presentado en la sección 3.2, es el encargado de reconocer los racimos maduros antes de cortarlos. Si esta actividad no se realiza correctamente provoca que los racimos se cosechen a destiempo, lo cual reduce la cantidad de aceite que se puede obtener de ellos.

El control de calidad de la fruta actualmente se lo realiza después que los racimos fueron transportados, en el patio de recepción de fruto de la extractora. Para esto se seleccionan aleatoriamente entre el 10% al 15% de los camiones

que ingresan, estos pueden ser de la propia plantación o de proveedores de fruto, indistintamente. Cada camión de la muestra es descargado completamente, para proceder a la selección y conteo de los racimos verdes y podridos. Los porcentajes obtenidos son retroalimentados diaria y semanal a los Jefes de División y a los encargados de la compra de fruto.

Los Jefes de División junto con los supervisores del proceso de Cosecha y Recolección de Fruto son los encargados de controlar a los cosechadores, para que estos realicen correctamente el reconocimiento de los racimos maduros, evitando cortar frutos verdes y podridos. Sin embargo, como se menciona en la sección 4.1 los cosechadores tienden a cortar estos racimos de mala calidad, ya que su remuneración es directamente proporcional a las toneladas que procesen.

4.4.1. Análisis del Control Actual de la Calidad de la Fruta

A través de la observación del proceso de control de calidad actual de la fruta y de las conversaciones mantenidas con los Jefes de División y Supervisores de Cosecha y Recolección de Fruto. Se pudieron identificar los siguientes inconvenientes:

- El control de calidad realizado en la extractora no permite conocer al detalle el desempeño de cada cosechador, ya que el camión generalmente está compuesto de los racimos cortados por varios grupos de cosecha.
- Los supervisores del proceso deben manejar un número grande de grupos de cosecha distribuidos en un extenso territorio, lo que les impide controlar efectivamente la calidad del fruto recolectado.
- La cosecha de racimos maduros, verdes o podridos tienen la misma remuneración para los obreros, lo que ha provocado un desinterés en reconocer cuidadosamente los racimos de buena calidad.
- La información actualmente recopilada no permite castigar o premiar a los grupos de cosecha y recolección, ya que no llega a mostrar en detalle el desempeño individual.

4.4.2. Propuesta de Control de Calidad del Fruto

En base al análisis de los factores presentados en la sección anterior, se decidió proponer un muestreo de aceptación, como método para realizar el control de la calidad del fruto directamente en los tambos de cada parcela con el fin de obtener:

- Información individual del desempeño de cada cosechador, para direccionar efectivamente al control realizado por los jefes de división y supervisores del proceso.
- Una base de datos para determinar que la calidad de los racimos cosechados por cada grupo está dentro de los parámetros exigidos, que permita en una próxima etapa recompensar a los obreros que realicen correctamente sus labores.

Cabe destacar que al tratarse de un muestreo de aceptación, como se menciona en la sección 2.3.2, no permitirá estimar los parámetros de calidad de la cosecha, sino simplemente asegurar que la calidad del trabajo de los obreros cumple con los requerimientos establecidos. Para estimar dichos parámetros se continuará utilizando el control de calidad realizado en el patio de la extractora.

Este muestreo de aceptación permitirá reducir las pérdidas de potencial de aceite por racimos podridos y malformados.

4.4.3. Determinación de los Parámetros del Plan de Muestreo de Aceptación

El plan de muestreo de aceptación que se utilizará es por atributos, es decir se controlará que los racimos tengan una característica física determinada que los hace ser rechazados o aceptados, en este caso se trata de su estado de madurez.

Con el fin de utilizar un sistema ya probado y de buenos resultados, el sistema de muestreo se basa en el Military Standard 105E, es cual como se

menciona en la sección 2.3.7, es el muestreo de aceptación para atributos de mayor uso en el mundo (Montgomery).

4.4.3.1. Elección del AQL Nivel de Calidad Aceptable

Para determinar el AQL se utilizó los estándares de calidad actualmente establecidos por la empresa ABC, los cuales se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 8. Nivel de Calidad Aceptable

Fuente: Informe Mensual Diciembre 2010

| NORMA DE CALIDAD DE FRUTO | |
|---------------------------|--------|
| % Fruto maduro | 96,00% |
| % Fruto verde | 2,00% |
| % Fruto podrido | 2,00% |

Como se puede ver el AQL a utilizar es el 2% tanto para verdes como para racimos podridos.

4.4.3.2. Elección del Nivel de Inspección

El nivel de inspección determina la relación entre el tamaño del lote y el tamaño de la muestra. Existen tres niveles normales de inspección I, II y III:

- El nivel II se lo toma como el normal, es decir tiene un equilibrio entre el número de muestras que se debe tomar y la discriminación o poder del muestreo.
- El nivel I requiere la mitad del tamaño de muestra que el nivel II, pero tiene un nivel más bajo de discriminación.
- El nivel III requiere el doble del tamaño de muestra normal pero su discriminación es superior.

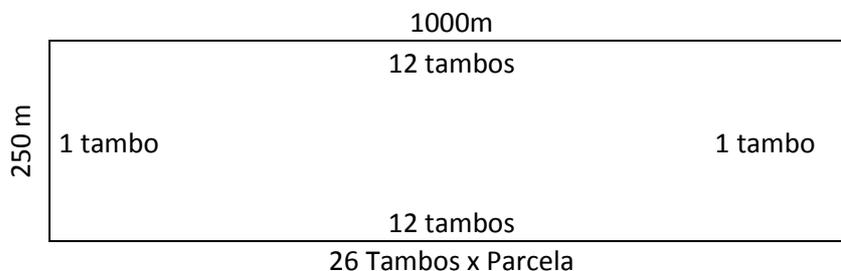
Existen también tres niveles adicionales S-1, S-2, S-3, que usan tamaños de muestra muy pequeños que se recomiendan sólo si los riesgos de error de discriminación pueden ser tolerados (Montgomery).

Para el presente trabajo se utilizará el nivel II, ya que se requiere una buena aproximación de la realidad, pero sin que esto requiera de tamaños de muestra grandes que impliquen una mayor inversión en el equipo de gente.

4.4.3.3. Determinación del Tamaño de Lote

Como se mencionan anteriormente, el muestreo de aceptación se realizará en los tambos de cada parcela una vez que el cosechador y el recolector concluyan su trabajo. Cada tambo se lo considera como un lote diferente, ya que es el resultado de la cosecha de cada grupo de obreros. Por lo tanto en esta sección se debe determinar el número de racimos que pueden estar presentes en cada tambo al final del día.

Las parcelas tienen la distribución física que se presenta a continuación:

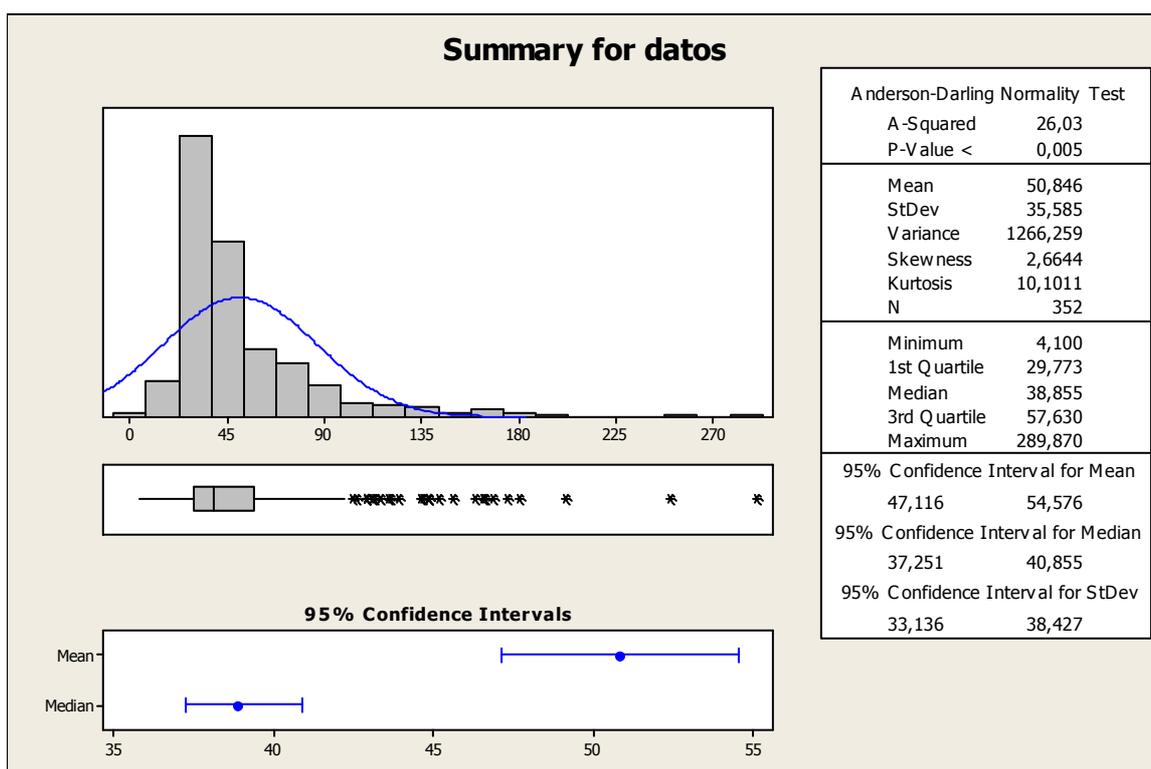


Fuente: Jefes de División de la empresa ABC

Figura 52. Distribución Física de Cada Parcela

Como se puede ver cada parcela consta de 25 hectáreas, en las que están distribuidos 26 tambos. Un grupo de cosecha utiliza dos tambos para ubicar el fruto recolectado durante el día, cada uno de estos es identificado por los obreros con sus códigos personales, ya que esto servirá como base para el cálculo de su remuneración. A partir de estos datos, se determinó que existen 1,04 tambos por hectárea.

Para determinar el número de racimos en cada tambo se utilizaron los datos de la producción actual de la plantación y las hectáreas cosechadas para cada año de cultivo y división, de todos los meses de año 2010. Esta información se presenta en el Anexo Z. Con el fin de resumir los resultados obtenidos se presenta el siguiente cuadro de MINITAB 14.



Fuente: Programa de análisis estadístico MINITAB 14.

Figura 53. Análisis de Datos del Número de Racimos por Tambo.

El número de racimos por tambo puede variar des 4 racimos hasta 290, con esta información, más el nivel de inspección se puede conocer el código de letras correspondiente de acuerdo al MIL-STD-105E. Las tablas del MIL-STD-105E para los códigos de letras se presentan en el Anexo AA. Como resultado se tiene:

- De 4-8 racimos le corresponde la letra A.
- De 9-15 racimos le corresponde la letra B.
- De 16-25 racimos le corresponde la letra C.

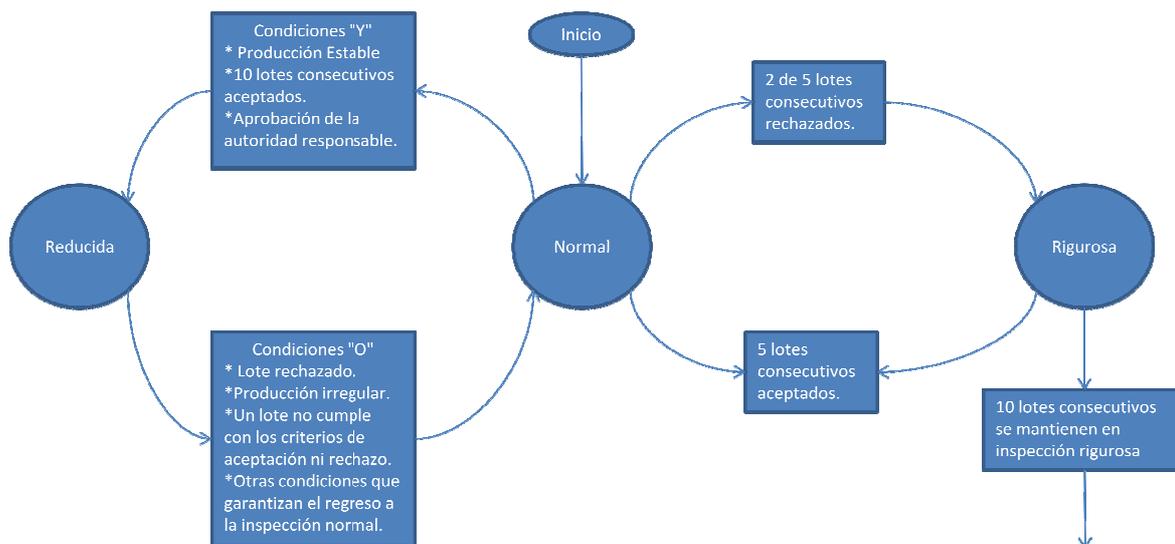
- De 26-50 racimos le corresponde la letra D.
- De 51-90 racimos le corresponde la letra E.
- De 91-150 racimos le corresponde la letra F.
- De 151-280 racimos le corresponde la letra G.
- Finalmente de 281-500 racimos le corresponde la letra H.

4.4.3.4. Determinación del Tipo Apropriado de Plan de Muestreo

Se manejará un plan de muestreo único, que a pesar, de ser menos confiable que los planes de muestreo múltiples, son de más sencilla comprensión y utilización, y requieren menos cantidad de obreros, lo que permitirá una implementación con menores recursos en menos tiempo. A través de la mejora continua se podría considerar la aplicación de muestreos múltiples en el futuro.

4.4.3.5. Elección del Plan de Muestreo Normal, Reducido y Riguroso

Según Montgomery, el plan de muestreo normal se debería utilizar, mientras el proveedor, en este caso los grupos de cosecha, se encuentra produciendo con el nivel de calidad AQL o superior. Cuando el nivel de calidad de los racimos cosechados cambien, el MIL STD 105E presenta un procedimiento para cambiar a un plan de muestreo reducido o riguroso. El cual se presenta en el siguiente diagrama.



Fuente: Control Estadístico de la Calidad de Montgomery

Figura 54. Reglas para Cambiar de Plan de Muestreo (MIL STD 105E).

En el caso de que diez lotes consecutivos se mantengan bajo la inspección rigurosa, se debería suspender el muestreo de aceptación, y emprenderse acciones a nivel correctivo con los grupos de cosecha para que mejoren la calidad de los frutos recolectados, por ejemplo evaluar que realmente reconozca las diferencias entre los racimos maduros y los racimos verdes/podridos.

4.4.4. Plan de Muestreo de Aceptación

Una vez determinados los parámetros para el muestreo de aceptación se procedió a consultar las tablas II-A, II-B, y II-C del MIL STD 105E, utilizadas para el nivel de inspección II. Estas tablas se presentan en el Anexo AB, como se puede ver no incluye un AQL del 2%, por lo que se va usar 1,5% ya que se trata de un nivel de calidad aceptable más estricto.

Estas tablas presentan el número de racimos que deben ser muestreados, el número máximo de racimos defectuosos para aceptar el lote, y el número mínimo de racimos defectuosos para rechazar el lote para los diferentes códigos de letras, los cuales, como se vio en la sección anterior, depende del tamaño del lote.

Los resultados de la consulta se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 9. Plan de Muestreo de Aceptación en Tambo

Fuente: MIL STD 105E

| # de Racimos en el Tambo | Inspección Rigurosa | | | Inspección Normal | | | Inspección Reducida | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|
| | # de Racimos Muestreados | # de Racimos aceptación | # de Racimos rechazo | # de Racimos Muestreados | # de Racimos aceptación | # de Racimos rechazo | # de Racimos Muestreados | # de Racimos aceptación | # de Racimos rechazo |
| 4-8 | Todos | 0 | 1 | Todos | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| 9-15 | 13 | 0 | 1 | 8 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| 16-25 | 13 | 0 | 1 | 8 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| 26-50 | 13 | 0 | 1 | 8 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 |
| 51-90 | 13 | 0 | 1 | 13 | 0 | 1 | 5 | 0 | 1 |
| 91-150 | 50 | 1 | 2 | 32 | 1 | 2 | 13 | 0 | 2 |
| 151-280 | 50 | 1 | 2 | 32 | 1 | 2 | 13 | 0 | 2 |
| 281-500 | 50 | 1 | 2 | 50 | 2 | 3 | 20 | 1 | 3 |

Se propone utilizar la información de esta tabla para el muestreo de aceptación de los tambos, esta información debe complementarse con la guía para los cambios del nivel de inspección con el fin de obtener resultados válidos.

4.4.4.1. Formato para la Aplicación del Plan de Muestreo

Con el fin de facilitar la comprensión del plan de muestreo propuesto para el personal de la plantación, se elaboró un formato que permita simplificar los conceptos presentados en las secciones anteriores.

Este formato deberá ser entregado a los controladores de calidad todas las mañanas, para que ellos, de acuerdo con el número de racimos que encuentren en el tambo y el tipo de muestreo (normal, reducido o riguroso), determinen la calidad de la producción de cada grupo de cosecha, y registren los resultados para su posterior almacenamiento.

El jefe de control de calidad será el encargado de mantener los registros sobre la calidad reportada de cada uno de los grupos de cosecha. Con la ayuda de estos datos y los lineamientos presentados en la Figura 53, de la sección 4.4.3.5, deberá decidir entre un plan de muestreo normal, reducido o riguroso.

El formato se muestra en la siguiente figura.

CONTROL DE CALIDAD EN TAMBO

Fecha: _____

División: _____

| # | Parcelas | Año Cultivo | Grupo de Cosecha | Tipo de Muestra | Racimos Revisados | Racimos Verdes | Racimos Pódridos |
|----|----------|-------------|------------------|-----------------|-------------------|----------------|------------------|
| 1 | D10a | 2000 | 41 | N | | | |
| 2 | D10b | 2000 | 33 | F | | | |
| 3 | D10c | 2002 | 24 | D | | | |
| 4 | D10d | 1999 | 12 | F | | | |
| 5 | D11a | 1998 | 2 | D | | | |
| 6 | D11b | 1997 | 3 | N | | | |
| 7 | D11c | 2001 | 4 | F | | | |
| 8 | D11d | 1997 | 23 | D | | | |
| 9 | D12a | 2000 | 2 | N | | | |
| 10 | D12b | 1996 | 5 | N | | | |

Responsable

| # de Racimos en el Tambo | # de Racimos Muestreados | | |
|--------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| | Inspección Fuerte (F) | Inspección Normal (N) | Inspección Débil (D) |
| 4-8 | Todos | Todos | 3 |
| 9-15 | 13 | 8 | 3 |
| 16-25 | 13 | 8 | 3 |
| 26-50 | 13 | 8 | 3 |
| 51-90 | 13 | 13 | 5 |
| 91-150 | 50 | 32 | 13 |
| 151-280 | 50 | 32 | 13 |
| 281-500 | 50 | 50 | 20 |

Fuente: Desarrollo Personal del Formato.

Figura 55. Formato para el Control de Calidad en Tambo.

El jefe de control de calidad deberá debe llenar la información sobre las parcelas, los años de cultivo, los grupos de cosecha y el tipo de muestreo (para facilitar la comprensión, se ha utilizado Fuerte, Normal y Débil en vez de Riguroso, Normal y Reducido) del formato. El Controlador de calidad debe:

1. Estimar la cantidad de racimos que existen en el tambo.
2. Consultar el tipo de muestreo que debe realizar; Fuerte, Normal o Débil, el cual se presenta en la quinta columna de la primera tabla del formato.
3. Utilizar esta información para consultar, en la segunda tabla del formato, el número de racimos que debe muestrear.
4. Escoger aleatoriamente los racimos que debe muestrear.
5. Determinar el número de racimos verdes y podridos existentes en la muestra.
6. Registrar los datos del muestreo en las columnas vacías del formato.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La demanda de aceite crudo de palma y aceite palmiste es creciente, por lo que los precios están en continuo aumento. La empresa busca aprovechar esta situación incrementando su producción.
- La empresa ABC tiene un mayor potencial productivo, es decir no aprovecha toda la producción de sus cultivos, para esto debería reducir los racimos y frutos sueltos que no se recogen. Se estima que actualmente se quedan en el campo 35.23 kg de racimos y 2,89 kg de fruto suelto por hectárea, lo que significa una merma de 507641 dólares anuales.
- La planta extractora de aceite está siendo subutilizada, debido a la baja producción de la plantación. Durante el año 2010 solo transformó 185000 toneladas de fruto, cuando su capacidad es de 240000 toneladas.
- El proceso de recolección y cosecha de fruto tiene tres variantes que dependen de la edad de la planta, y del animal de carga que se utilice. Para cada variante el desempeño de los obreros es diferente.
- Solamente el 38,39% de las actividades del proceso de recolección y cosecha de fruto agregan valor, esto se debe principalmente al desplazamiento realizado por el grupo de cosecha entre las palmas y hasta el tambo.
- El recolector no tiene la capacidad física para recolectar todos los racimos y frutos sueltos cosechados por su compañero de grupo, sin importar la variante del proceso, lo que provoca que deje parte de la producción de las plantas en el campo.
- La recolección de frutos sueltos, de bajo peso pero con gran contenido de aceite, no es atractiva para los obreros, ya que su remuneración se basa en las toneladas recogidas.

- La inclusión de un tercer integrante en el grupo de cosecha, que se dedique a la recolección de frutos desprendidos, permitirá eliminar las pérdidas que la empresa tiene por racimos y frutos sueltos no recogidos.
- La propuesta de incluir un tercer integrante es económicamente aceptable y puede generar 226.743,96 dólares para la empresa durante el año de duración.
- El control de calidad realizado en la extractora no permite conocer al detalle del desempeño de cada grupo de cosecha, debido a que el fruto es transportado en por camiones en grandes lotes.
- La cosecha de racimos maduros, verdes o podridos tienen la misma remuneración para los obreros, lo que ha provocado un desinterés en reconocer cuidadosamente los racimos de buena calidad.
- El muestreo de aceptación en los tambos permitirá conocer el desempeño individual de cada grupo de cosecha, con el fin de enfocar el control realizado por los supervisores del proceso y jefes de división.

5.2. Recomendaciones

- Determinar el rendimiento diario de cada integrante del grupo de cosecha, si se acepta la propuesta de incluir al recolector de frutos sueltos. Esto permitirá mejorar la utilización de estos recursos.
- Generar una base de datos de la calidad del fruto recolectado por cada grupo de cosecha, la cual permita obtener la información necesaria para posteriores iniciativas de mejora.
- Evaluar la utilización de planes de muestreo múltiples, que reducen el tamaño de muestra, una vez que los obreros se familiaricen con el plan de muestreo propuesto.
- Utilizar las distribuciones de tiempo obtenidas y los resultados del modelo de simulación presentado, con el fin de evaluar nuevas propuestas de mejora.

- Capacitar a un grupo de controladores de calidad en tambo para que conozcan claramente los parámetros de calidad, Esto ayudar a que el muestreo de aceptación tenga resultados más confiables.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía a espacio simple y dos espacios entre ellas

Sullivan, Wicks, Luxhoj. Ingeniería Económica de DeGarmo. Pearson, México, 2004.

Blank, Leland. Ingeniería Económica. McGraw-Hill, México, 2006

Zandin, Kjell. Maynard Industrial Engineering Handbook. McGraw Hill, New York, 2001.

Niebel y Freivalds. Ingeniería Industrial. Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo, 11va Edición. Alfaomega. México; 2007.

Montgomery, Douglas C. Control Estadístico de la Calidad. Tercera Edición; LimisaWiley 2007.

Montgomery, Douglas C. Diseño y Análisis de Experimentos. Segunda Edición; LimisaWiley 2002.

Shannon, Robert; Johannes, James D. Systems simulation: the art and science. IEEE Transactionson Systems, 1976.

Vergara, Héctor. Clase de Simulación, MAT 360. Enero -Mayo 2008.

Cisneros, Patricio. Clase de Introducción a la Ingeniería Industrial. Enero – Mayo 2007.

Cabezas, Alba María. Clase de Seguridad Industrial. Septiembre -.Diciembre 2008.

Vergara, Héctor. Clase de Control Estadístico de la Calidad. Enero – Mayo 2008.

Villablanca, Ángel. Clase de Ingeniería Económica. Septiembre – Diciembre 2007.

Rockwell Automation. Arena Simulation Software. 2011.

<<http://www.Arenasimulation.com/>>.

Grupo de Ingeniería de Organización. Simulación. Universidad de Oviedo.
<<http://gio.uniovi.es/documentos/asignaturas/descargas/transparenciasSimulacion.pdf>>

Departamento de Informativa. Introducción a la Simulación con Arena.
Universidad de Valladolid.
<<http://www.infor.uva.es/~migumar2/lsim0910/Arena.pdf>>

Empresa ABC, Informe Bimensual de Agotados Diciembre 2010. Diciembre 2010.

Empresa ABC, Informe Mensual de la Plantación Diciembre 2010. Diciembre 2010.

Cámara de Comercio de Quito. Instructivo Salarial 2008-2011. 2011
<http://www.lacamaradequito.com/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=94&Itemid=60&mosmsg=Est%E1+intentando+acceder+desde+un+dominio+no+autorizado.+%28www.google.com%29>

Banco Central del Ecuador. Tasas de Interés Marzo 2011.
<<http://www.bce.fin.ec/docs.php?path=documentos/Estadisticas/SectorMonFIn/TasasInteres/Indice.htm>>