

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Optimización de la Gestión Integral de Residuos Sólidos  
en el Centro de Reciclaje Fabricio Valverde - Isla Santa  
Cruz, Galápagos.**

**Paula Gabriela Domski Chiriboga  
María Luisa Schreyer Yzaga**  
Ingeniería Industrial

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Industrial

Quito, 18 de diciembre de 2017

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**  
**COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Optimización de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en el Centro de  
Reciclaje Fabricio Valverde - Isla Santa Cruz, Galápagos.**

**Paula Gabriela Domski Chiriboga  
María Luisa Schreyer Yzaga**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Pablo Dávila, Ph.D.

Firma del profesor

---

Quito, 18 de diciembre de 2017

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Paula Gabriela Domski Chiriboga

Código: 00112527

Cédula de Identidad: 1720670254

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: María Luisa Schreyer Yzaga

Código: 00112184

Cédula de Identidad: 1720873387

Lugar y fecha: Quito, 18 de diciembre de 2017

## **RESUMEN**

El manejo de residuos sólidos es un desafío para la sociedad moderna debido al permanente incremento en la generación de residuos sólidos y al complejo manejo de éstos; la situación se complica, especialmente por la limitación de recursos y el bajo interés por parte de la comunidad. El índice de generación de residuos per cápita diario más alto en el Ecuador está en la provincia insular de Galápagos, situación preocupante debido a la importancia científica y natural de esta zona. La isla más poblada en la provincia de Galápagos es Santa Cruz y, debido a esto, aquella que genera más desechos sólidos. En el presente estudio, se propone alternativas de optimización para el manejo y gestión de residuos sólidos en el Centro de Reciclaje Fabricio Valverde (CRFV) de la isla Santa Cruz, a través del uso de la metodología Lean-Six Sigma y la optimización del uso de recursos y espacio. Finalmente se llevó a cabo un análisis de rentabilidad general considerando las ventas de materiales reutilizables seleccionados y las ventas de productos procesados localmente: compost y polvo de vidrio.

Palabras clave: Lean, Six Sigma, DMAIC, Residuos Sólidos, Galápagos, Reciclaje.

## ABSTRACT

The management of solid waste is a challenge for modern societies, this is mainly because of the permanent increase in the generations of solid waste and also that its management represents a complex issue, especially because of limited resources and the increasing interest from part of the community. The highest per capita daily waste generation rate in Ecuador is in the insular province of Galapagos, a situation of high concern due to the scientific and natural importance of this area. The most populated island in the Province of Galapagos is Santa Cruz and, because of this, it is the island that has the most of solid waste to process. In the present study optimization alternatives are proposed for the management of recyclable solid waste at the Fabricio Valverde Recycling Center (FVRC) in Santa Cruz Island, through the use of Lean Six Sigma methodology and through the analysis of physical capacity and human resources available to the recycling center. Finally, it was carried out a general profitability analysis considering the sales of selected reusable materials and the sales of locally processed products: compost and glass powder for construction.

*Key words:* Lean, Six Sigma, DMAIC, Solid Waste, Galapagos, Recycling.

## TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción .....	10
1.1. Análisis de la situación actual.....	12
1.2. Problemas identificados en el CRFV.....	14
1.3. Revisión literaria.....	15
2. Metodología Lean Six Sigma.....	16
2.1. Etapa ‘Definir’ .....	16
2.2. Etapa ‘Medir’ .....	17
2.3. Etapa ‘Analizar’ .....	21
2.4. Etapa ‘Mejorar’ .....	30
2.5. Etapa ‘Controlar’ .....	34
3. Resultados .....	34
4. Discusión.....	37
5. Conclusiones y Recomendaciones .....	39
6. Bibliografía .....	43
7. Anexos .....	45

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: RSR no voluminosos, separados a mano en banda de selección.....	13
Tabla 2: Principales problemas identificados. ....	14
Tabla 3: Rangos permisibles de parámetros de seguimiento principales. ....	16
Tabla 4: Observaciones para el proceso de selección de residuos reciclables.....	18
Tabla 5: Número recomendado de observaciones de los procesos de compactación en compactadoras 1, 2 y 3.....	20
Tabla 6: Tiempo en realizar paca por compactadora y su desviación en minutos.....	27
Tabla 7: Tiempos tomados en segundos de compactadora 1 de pacas de cartón .....	50
Tabla 8: Estimado de tiempo de procesamiento y número de operadores por actividad: escenario actual. ....	52
Tabla 9: Propuesta: materiales y porcentaje a seleccionar por operario. ....	54
Tabla 10: Propuesta de mejora para compactadora con la cantidad de pacas al día (operario ayudante). ....	58
Tabla 11: Propuesta de mejora de embarque. ....	59
Tabla 12: Altura propuesta de paca y altura de la línea Poka-Yoke en compactadora.....	59
Tabla 13: Parámetros tomados de pilas de compostaje. ....	63

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Flujo de los residuos sólidos reciclables en la Isla Santa Cruz.....	11
Figura 2: Pasos DMAIC de la Metodología Lean Six Sigma .....	12
Figura 3: Procesos de manejo de residuos del CRFV .....	13
Figura 4: Diagrama de Pareto de pesajes de materiales .....	17
Figura 5: Distribución del CRFV para las áreas de interés .....	19
Figura 6: Distribución del Área de orgánicos.....	20
Figura 7: Modelos de pronósticos de pesajes de camiones .....	23
Figura 8: Detalle de propuesta para puestos de selección en banda.....	31
Figura 9: Diagramas de espagueti en estado actual y en estado propuesto .....	36
Figura 10: Diagrama de flujo de proceso de selección abastecimiento AS-IS.....	45
Figura 11: Diagrama de flujo de proceso de compactadora 1 AS-IS .....	46
Figura 12: Diagrama de flujo de proceso de almacenamiento AS-IS. ....	47
Figura 13: Diagrama de flujo de proceso de despacho AS-IS.....	48
Figura 14: Diagrama de disposición de puesto de selección 23 junio 2017.....	49
Figura 15: Pesos en kilogramos de camiones desde abril de 2016 a mayo 2017 .....	51
Figura 16: Diagrama de causa y efecto de proceso de banda de selección .....	53
Figura 17: Propuesto de Poka-Yoke de control visual y disminuir errores.....	55
Figura 18: Propuesto de estructura de final de banda.....	56
Figura 19: Diagrama de causa y efecto de proceso de compactación .....	57
Figura 20: Propuesta de caja para herramientas y sunchos de compactadoras. ....	58
Figura 21: Diagrama de Gantt: Análisis de capacidad actual de recursos humanos .....	60
Figura 22: Diagrama de Gantt: Análisis de capacidad propuesta de recursos humanos.	61
Figura 23: Diagrama de espagueti del Área de maleza .....	62
Figura 24: Diseño de la planta de trituración de vidrio. ....	65
Figura 25: Diagrama de flujo propuesto para el proceso de trituración de vidrio.....	66

# ACRÓNIMOS

**CRFV:** Centro de Reciclaje Fabricio Valverde

**DMAIC:** Define, Measure, Analyze, Improve, Control (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar)

**FAO:** Food and Agriculture Organization (Organización para la Alimentación y Agricultura)

**GADSC:** Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Cruz

**INEC:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

**PEAD:** Polietileno de Alta Densidad

**PEBD:** Polietileno de Baja Densidad

**PET:** Polyethylene Terephthalate (Tereftalato de Polietileno)

**PH:** Potencial Hidrógeno

**PP:** Polipropileno

**PVC:** Polyvinyl Chloride (Policloruro de Vinilo)

**RO:** Residuos Orgánicos

**RS:** Residuos Sólidos

**RSR:** Residuos Sólidos Reciclables

**RRHH:** Recursos Humanos

**SMED:** Single Minute Exchange Dice

## 1. Introducción

El manejo de residuos sólidos (RS) es una tarea compleja para las sociedades modernas; de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (UN, 2015), la población mundial se ha triplicado en los últimos 65 años y de acuerdo a información del Banco Mundial (2017), la producción de residuos, tiene un incremento constante ligado al crecimiento poblacional y los hábitos de consumo de las personas. Para el año 2015 la producción de residuos sólidos a nivel mundial se estimó en 7.4 millones de Tn/día. En Latinoamérica y el Caribe en el 2012, se generó un estimado de 356000 Tn/día, de RS, lo que representa 1.04 kg/persona/día (Hernández-Berriel et al., 2016). De acuerdo al Banco Interamericano de Desarrollo (2015), cerca del 45% de los RS en Latinoamérica y el Caribe, no se manejan con un tratamiento adecuado o se les da una disposición final apropiada.

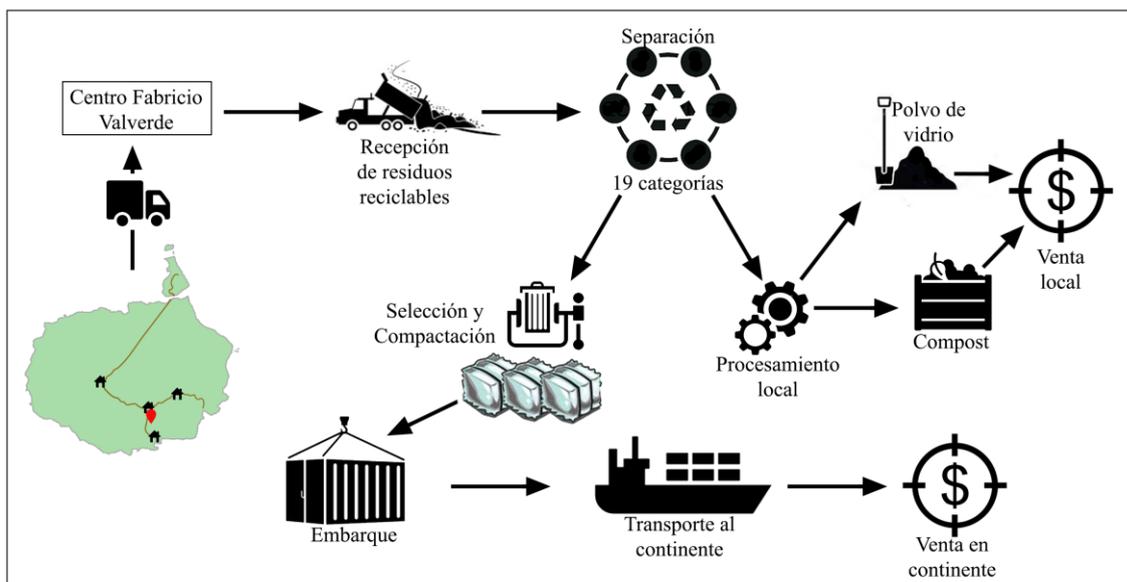
En el Ecuador, para el año 2014, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2014), se produjeron cerca de 11 millones de kg/día de RS, de los cuales 0.54 kg/hab/día de residuos sólidos urbanos (RSU) corresponden a la Amazonía, 0.56 kg/hab/día a la Sierra, 0.59 kg/hab/día a la Costa y 0.72 kg/hab/día a la Región Insular. La generación en las Islas Galápagos es la más alta per cápita del país.

De acuerdo al censo realizado por el INEC en el año 2015, Santa Cruz es la isla más poblada del archipiélago con 15701 habitantes, donde se tiene el 61.27% de los RS totales generados en toda la Región Insular. En la isla existen dos espacios físicos designados para la gestión y tratamiento de residuos sólidos: a) el relleno sanitario ubicado en el km 40 de la vía a Baltra, donde se disponen los residuos no reciclables, y b) el Centro de Gestión Integral de Residuos Sólidos y Reciclaje Fabricio Valverde (CRFV), propósito del presente estudio. El CRFV está localizado en el cantón Santa Cruz a cuatro kilómetros del centro de Puerto Ayora, allí se gestionan residuos sólidos

reciclables (plásticos PET, PEAD, PP, PEBD, PVC, cartón, cartón tipo dúplex, papel, vidrio, latas de aluminio, latas ferrosas, envases tipo Tetrapak, cubetas de huevos, chatarra y electrónicos), material orgánico y maleza.

Santa Cruz cuenta con un sistema de recolección de residuos sólidos diferenciado, el cual separa los residuos de acuerdo a cinco categorías principales: reciclables, no reciclables, orgánicos, voluminosos y peligrosos. El CRFV posee 3 hectáreas, divididas en cuatro áreas: 1. selección de residuos reciclables, 2. tratamiento de residuos orgánicos, 3. almacenamiento de chatarra y 4. disposición de maleza.

El proceso general llevado a cabo en el CRFV se presenta en la Figura 1.



**Figura 1:** Flujo de los residuos sólidos reciclables en la Isla Santa Cruz.

De acuerdo a Castillo (2016), el CRFV presenta inconvenientes debido a una disminución en su eficiencia global en los últimos dos años (eficiencia en relación al peso de los materiales reciclables recuperados en relación al total recibido), lo que implica que una mayor cantidad de residuos reciclables están siendo depositados en el relleno sanitario en vez de ser procesados para reciclaje. El presente estudio propone la optimización de recursos humanos y físicos, el mejoramiento de los métodos y estándares de selección de residuos reciclables y compactación de los mismos y realizar

un análisis económico de la rentabilidad del CRFV. Para esto se realizó el levantamiento de los procesos involucrados, el análisis de los métodos y estándares y un análisis económico contemplando la venta del material procesado localmente, así como la venta del material seleccionado en el continente.

El objetivo del proyecto fue determinar la mejor forma de seleccionar y procesar los residuos sólidos reciclables (RSR); considerando espacios designados para recepción y almacenamiento de materiales y los recursos humanos con los que cuenta el CRFV. Adicionalmente, buscó optimizar el proceso de compostaje, analizar su rentabilidad y desempeño. Por último, exploró un diseño de planta para trituración de vidrio.

La metodología que se usó para optimizar los procesos fue Lean Six Sigma. Las etapas a seguir de esta metodología de acuerdo a Pyzdek & Keller (2014), son Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, también llamada DMAIC (ver Figura 2). El presente proyecto contempló hasta la etapa de ‘Mejorar’, previa a la implementación.



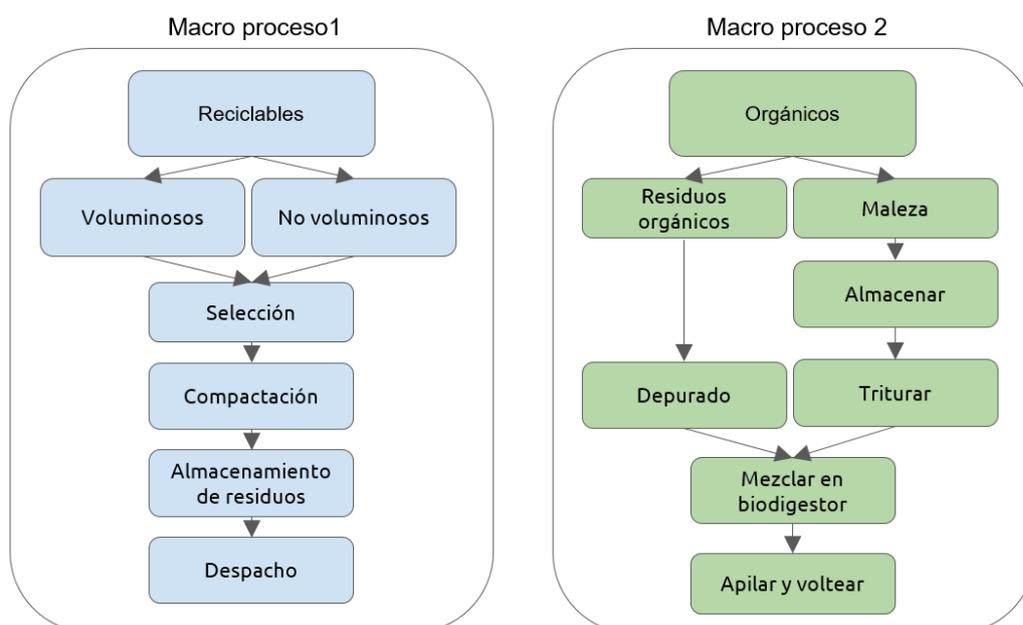
**Figura 2:** Pasos DMAIC de la Metodología Lean Six Sigma.

### 1.1 Análisis de la situación actual

De acuerdo al estudio realizado por Castillo (2016) en el CRFV, la eficiencia general decreció de 71.22% en 2015 al 40.14% en 2016. El decrecimiento en eficiencia del centro se debe, entre otros, a una separación inadecuada de residuos en la fuente, falta

de planes de mantenimiento en equipos e instalaciones (GADCSC, 2016), capacidad en cuanto a recursos humanos (RRHH), espacios físicos y maquinaria disponibles y falta de un diseño adecuado de procesos, puestos de trabajo y procedimientos para que los operadores del centro desarrollen sus actividades adecuadamente.

El CRFV lleva a cabo en la actualidad dos macro procesos principales para el manejo de desechos sólidos, detallados en la Figura 3.



**Figura 3:** Procesos de manejo de residuos del CRFV.

Dentro del macro proceso 1, se manejan materiales reciclables no voluminosos, mismos que se separan de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** RSR no voluminosos, separados a mano en banda de selección.

Tipo de residuo	Tipo de residuo	Tipo de residuo
Plástico 1 (PET)	Papel blanco	Cartón
Plástico 2 (PEAD)	Papel mixto	Tetrapak
Fundas (PEBD)	Papel brillante	Aluminio
Plástico duro (PVC)	Cubetas de huevo	Metales
Plástico 5 (PP)	Papel periódico	Electrónicos
Vidrio	Dúplex	CD's

Fuente: Datos GADCSC (2017).

## 1.2 Problemas identificados en el CRFV

Los principales problemas identificados en los procesos de reciclables y orgánicos se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** *Principales problemas identificados.*

Área	Problema identificado
Recepción residuos reciclables	No todos los recolectores se pesan al ingresar
Banda de selección	No existe un buen diseño de puestos
Tolva entre bandas	Mal diseño genera paros y suciedad
Compactación	No existen métodos ni estándares
Almacenamiento	Lugares poco adecuados para almacenar
Despacho	El flujo no es constante
Recepción de residuos orgánicos	No todos los recolectores se pesan al ingresar
Biodigestor	Residuos llegan con muchas fundas plásticas
Compost	Malos olores y falta de control de calidad

El vidrio es el único RSR procesado localmente. Para esto, el centro cuenta con una trituradora de vidrio, misma que dejó de operar en enero de 2017 debido a desgaste y problemas de máquina. Desde entonces las botellas de vidrio han sido depositadas en dos áreas del CRFV, lo que representa un problema debido al alto flujo de este material en el centro.

Para los materiales reciclables voluminosos (chatarra y electrónicos), éstos son almacenados en un área de 1500 m<sup>2</sup>. Actualmente, el área se encuentra cubierta de residuos voluminosos mezclados (cocinas viejas, refrigeradoras, fotocopiadoras, etc). El centro no procesa éstos residuos formalmente, por lo que, dos personas independientes se encargan de separar la chatarra para luego trasladarla y venderla en el continente. Este proceso no cuenta con un diseño específico y resulta en una actividad desordenada.

El proceso de manejo de residuos de maleza es realizado de manera inadecuada debido a que los camiones recolectores no pesan dicho material y la descarga se realiza de forma manual usando el sentido común sin tomar conciencia de los riesgos presentes. El área no cuenta con un diseño adecuado para las actividades que se realizan y las descargas de maleza pueden tomar hasta una hora.

### 1.3 Revisión literaria

Lean Six Sigma es una metodología que une los principios y herramientas de Manufactura Esbelta y Six Sigma. La manufactura esbelta permite reducir los desperdicios y aquellas actividades que no agregan valor dentro de un proceso. Six Sigma busca reducir los defectos por millón de oportunidades basándose en la disminución de la variabilidad de los procesos y trabajando en el mejoramiento continuo de los mismos (Jung-Lang, 2017).

En un estudio realizado en la planta de recuperación de materiales en Toledo, Ohio, se aplica la metodología Lean Six Sigma con las etapas DMAIC. De acuerdo a Barnala (2011), este estudio se realizó con el objetivo de reducir los desperdicios sólidos que van al relleno sanitario, optimizar los tiempos de ciclo de los procesos, mejorar la satisfacción del cliente, mejorar la eficiencia, reducir costos y eliminar errores. El estudio menciona que al reducir el tiempo que no agrega valor en ciertos procesos, se logró aumentar la cantidad de toneladas procesadas de pacas compactadas de papel en un 7.3%, 12.8% para el proceso de pacas de cartulina, entre otros. Esto generó una ganancia adicional de aproximadamente 65 mil dólares anuales.

En relación al manejo de residuos orgánicos (RO) para compostaje, el tiempo de elaboración del compost depende de la mezcla del material orgánico y su tratamiento, para determinar la calidad del material resultante. El compost se define según la

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), como la mezcla de materia orgánica en descomposición que se utiliza para mejorar la estructura de los suelos. El tiempo del proceso de compostaje puede variar en un rango de entre cuatro semanas hasta 18 meses de acuerdo a Moreno y Moral, (2008). Los parámetros de seguimiento principales en procesos de compostaje son: temperatura, humedad, PH, aireación, tamaño de partícula y relación carbono-nitrógeno (C/N). De acuerdo a Román et al. (2013), los parámetros de seguimiento principales deben encontrarse dentro de los rangos establecidos, esto para poder garantizar la calidad del producto final. Los rangos permisibles para cada indicador se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Rangos permisibles de parámetros de seguimiento principales.

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
Temperatura	T° ambiente (20°C)	70 °C
Humedad	45%	60%
Relación C/N	15:1	35:1
Tamaño de partícula	5 cm	30 cm
PH	4.5	8.5
Aireación	5%	15%

*Fuente:* Manual de compostaje del agricultor, 2013.

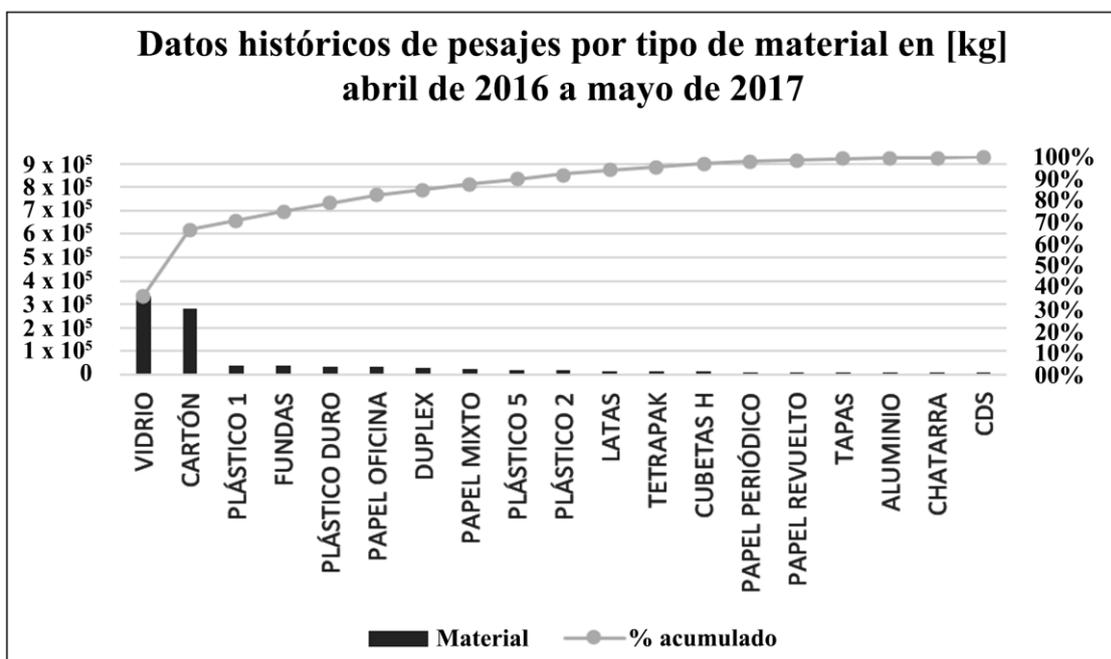
## 2 Metodología Lean Six Sigma

### 2.1 Etapa ‘Definir’

La toma de datos de este proyecto se realizó en los meses de junio y julio de 2017, el CRFV, durante éste periodo de tiempo se contaba con 14 operadores locales y un coordinador de actividades. El 80% de los operadores locales trabaja en los procesos de selección de RSR y en los diferentes procesos de compactación, el 20% restante se encarga del área de vivero. Los procesos de abastecimiento de banda de selección, compactación, almacenamiento de material seleccionado y de despacho de material

hacia el continente, ocupan la mayoría de la fuerza laboral del centro y presentan varios problemas, el detalle de esto se puede observar en los diagramas de flujo presentados en los Anexos 1, 2, 3 y 4.

Para poder determinar aquellos materiales que deben ser considerados prioritariamente, se realiza un diagrama de Pareto, considerando datos históricos de materiales reciclables no voluminosos totales registrados en el CRFV desde el mes de abril de 2016 hasta el mes de mayo de 2017 (ver Figura 4).



**Figura 4.** Diagrama de Pareto de pesajes de materiales.

Los materiales más significativos, que se evaluó y optimizó, fueron: vidrio con 36,14 %, cartón con 30,48 %, plástico 1 con 4,35 % y fundas con 4,19 %. Dichos materiales representan el 75 % del peso total registrado en el periodo indicado.

## 2.2 Etapa 'Medir'

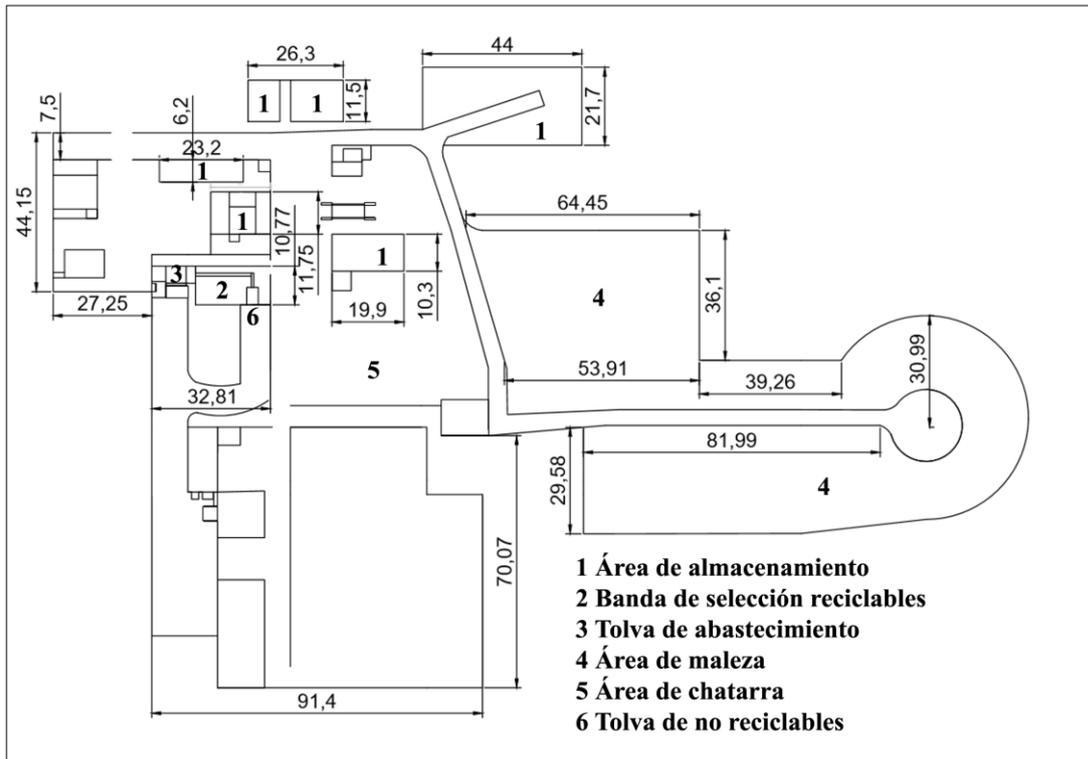
Se registró los pesos de camiones que ingresaron al centro considerando los diferentes tipos de residuos que cada camión recolecta. Se observó y registró los datos de pesajes en el mes de junio de 2017.

Considerando el número recomendado de ciclos de observación para estudios de tiempos y movimientos desarrollado por General Electric Company (Niebel, B. & Freivalds, A., 2009), por medio de un cronómetro digital se tomó las observaciones de tiempos en banda de selección, las mismas que se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** *Observaciones para el proceso de selección de residuos reciclables.*

Variable	# de observaciones
Tiempos de paro de banda de selección y motivos	3
Tiempos de llenado de contenedores de vidrio	3
Tiempos de llenado de fundas de plástico 1	8
Tiempos de llenado de sacos de papel oficina	15
Tiempos de llenado de contenedores de plástico 1	5
Tiempos de llenado de fundas de fundas	5
Tiempos de vaciado de tolva	3

Para analizar el espacio con el que cuenta el centro, se realizó un levantamiento de las dimensiones lineales en el CRFV (en metros). La distribución, medida en metros, se puede observar en la Figura 5, se utilizó las medidas para calcular la capacidad física de la operación.



**Figura 5.** Distribución del CRFV para las áreas de interés.

La capacidad volumétrica de la tolva de abastecimiento es de aproximadamente  $51\text{m}^3$ , la capacidad volumétrica en contenedores en banda de selección es de  $16\text{ m}^3$  y la capacidad volumétrica en la tolva de residuos no reciclables es de  $9\text{ m}^3$ . Se realizó un levantamiento de la disposición de contenedores en la banda de selección en 3 días distintos, el detalle del diagrama de disposición de puesto de selección realizado el día 23 de junio, se puede observar en el Anexo 5.

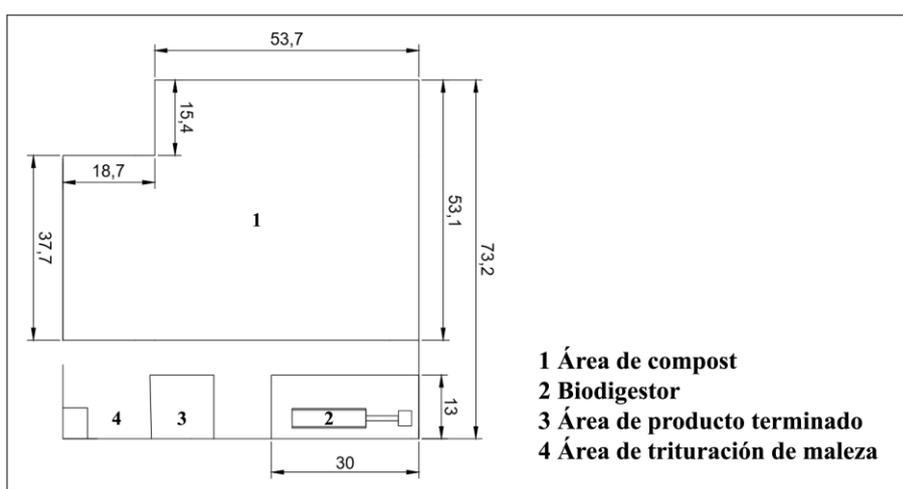
El CRFV cuenta con tres compactadoras y sus capacidades son:  $0.55$ ,  $0.88$  y  $0.49\text{ m}^3$  respectivamente. Los procesos de compactación varían de acuerdo a cada compactadora disponible y de acuerdo al material a compactarse. En la Tabla 5 se detallan los materiales que se compactan y el número recomendado de ciclos de observación (tiempo de prensado de una paca) por cada tipo de material, los tiempos se miden en segundos utilizando un cronómetro digital. Cada ciclo se divide en actividades, las

cuales se pueden observar al detalle en el Anexo 6, en el cual se observa un ejemplo de toma de datos de compactación de cartón en la compactadora 1.

**Tabla 5.** Número recomendado de observaciones de los procesos de compactación en compactadoras 1, 2 y 3.

Variable	Tamaño de muestra (# de observaciones)
Tiempos de compactado de cartón	8
Tiempos de compactado de plástico 1	3
Tiempos de compactado de latas	3
Tiempo de compactado de Tetrapak	5
Tiempo de compactado de dúplex	5
Tiempos de compactado de fundas	8
Tiempos de compactado de plástico 2	5
Tiempos de compactado de aluminio	8
Tiempo de compactado de plástico 5	8
Tiempos de compactado de plástico duro	3

Se realizó un levantamiento de dimensiones lineales (en metros), del área de residuos orgánicos para estimar la capacidad física, los datos se presentan en la Figura 6.



**Figura 6.** Distribución del Área de orgánicos.

Actualmente no se lleva un registro de parámetros de seguimiento principales del proceso de compostaje y, debido al alcance del presente proyecto en cuanto a presupuesto, se realizó la medición de los siguientes parámetros: temperatura, humedad

relativa y pH de todas las pilas de material en proceso de compostaje, esto para evaluar la calidad del producto en cuanto a parámetros básicos de control. Se registró el tiempo de almacenamiento del centro para cada montón apilado (subjetivo, dado por el coordinador del centro). Las mediciones de los parámetros de seguimiento, se realizaron con un corte transversal por cada pila de compost, considerando 3 observaciones por corte y 3 mediciones en cada una.

### 2.3 Etapa ‘Analizar’

Utilizando los datos históricos de pesajes de camiones diferenciados de acuerdo al tipo de residuo desde el mes de abril de 2016 hasta mayo de 2017 (GADSC, 2017), se utilizaron los datos proporcionados para modelar la demanda del centro a futuro. En las gráficas de RSR y RO se tiene que los datos siguen una tendencia creciente de 0.12% y 1.5% respectivamente; la figura de estos pesajes se puede observar en el Anexo 7. Para fines de esta investigación y para poder calcular la capacidad del centro a futuro, se realizaron pronósticos de demanda por tipo de residuo utilizando los datos obtenidos y considerando un ajuste a los mismos, lo que se explica posteriormente. El pronóstico se realizó hasta el mes de junio de 2018, para posteriormente desarrollar un análisis de capacidad de procesamiento del centro a 1 año de efectuado el estudio por disposición del centro. Las metodologías usadas para realizar los pronósticos se dan de acuerdo al tipo de residuo evaluado de acuerdo a: en el caso de residuos reciclables, se utilizó el modelo de Winters, el cual se ajusta a demandas estacionales y que presentan una tendencia (Nahmias, 2014). El modelo de Winters es un suavizamiento exponencial triple, por ende, usa tres ecuaciones de suavizamiento en cada periodo para actualizar los cálculos de serie desestacionalizada (1), los factores estacionales (2) y la tendencia (3). Y cada una de estas ecuaciones tiene constantes de suavizamiento las cuales son  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$ . Las ecuaciones son las siguientes (Nahmias, 2014, pág. 72):

$$S_t = \alpha \left( \frac{D_t}{c_t - N} \right) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + G_{t-1}) \quad (1)$$

$$G_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)(G_{t-1}) \quad (2)$$

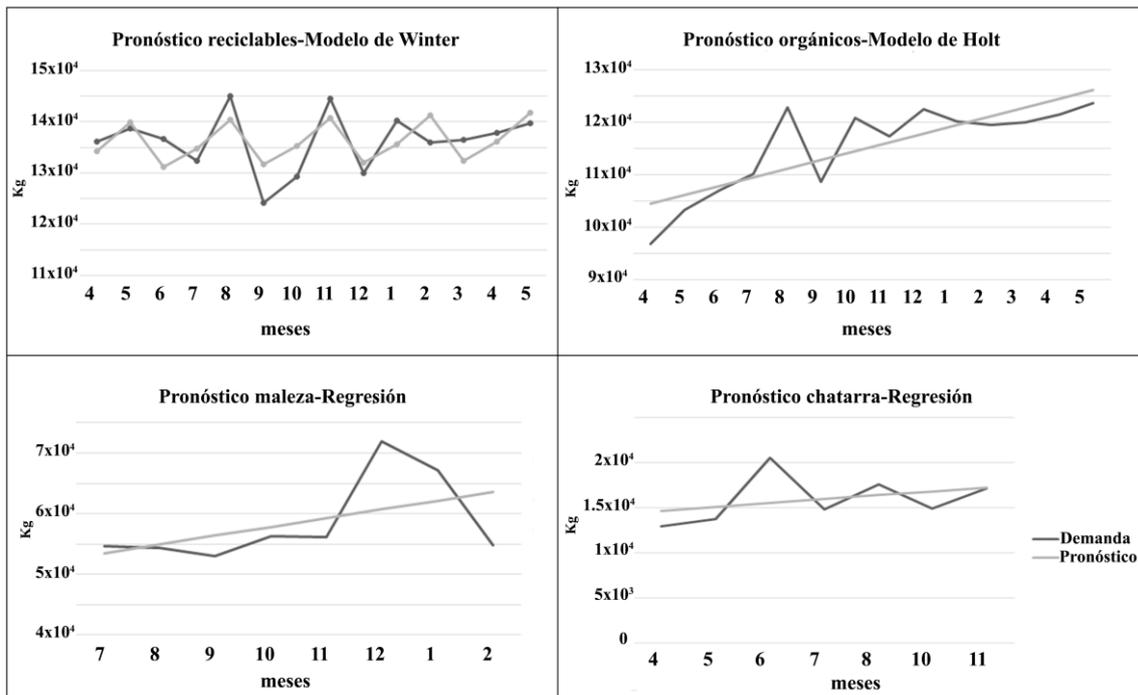
$$c_t = \gamma \left( \frac{D_t}{S_t} \right) + (1 - \gamma)(c_{t-N}) \quad (3)$$

Donde D es la demanda en un periodo t y N es el número de periodos. Para poder calcular el pronóstico en el periodo t para cualquier periodo futuro  $t + \tau$  se utiliza la ecuación (4).

$$F_{t,t+\tau} = (S_t + \tau G_t) c_{t+\tau-N} \quad (4)$$

Se optimizó los parámetros (alpha, beta y gamma) utilizando el software Solver (Microsoft Excel, 2010), con el objetivo de minimizar el error. Este pronóstico tiene un porcentaje de error de  $\pm 2.8\%$  con relación a la demanda, el mismo que se debe considerar ya sea positiva o negativamente para estimar si la capacidad actual podría responder a cambios de la demanda.

Para residuos orgánicos, se utilizó el modelo de Holt ya que se ajusta mejor a los datos debido a que se utiliza cuando se evidencia una tendencia (Nahmias, 2014). En este caso también se optimizan los parámetros (alpha y beta) y se tiene un error de  $\pm 3.2\%$  con relación a la demanda. En cuanto a los pronósticos realizados para los desechos de maleza y chatarra, se trabajó con líneas de tendencia, dejando de lado datos atípicos y considerando un incremento de la cantidad de estos residuos en el tiempo con el objetivo de analizar con mayor profundidad la capacidad de procesamiento del centro. Las gráficas de los pronósticos se presentan en la Figura 7.



**Figura 7.** Modelos de pronósticos de pesajes de camiones.

Se realizó una comparación de los pronósticos calculados para el mes de junio 2017 con pesajes observados en ese mismo mes, misma que dio un porcentaje de desfase entre los datos. En base a este porcentaje de desfase se ajustaron los pronósticos y se estimaron las demandas hasta el mes de junio de 2018; asimismo, para considerar escenarios optimistas y pesimistas en el pronóstico de la demanda, se realizó un análisis de sensibilidad a la demanda pronosticada tomando la correlación identificada entre crecimiento poblacional y generación de RS. Se trabajó con una línea de tendencia para estimar el crecimiento poblacional porcentual anual utilizando los datos oficiales de los últimos censos realizados en la isla Santa Cruz en los años 2001, 2010 y 2015 (INEN, 2017). De este ejercicio se obtuvo que el crecimiento poblacional porcentual anual es de 2.98%, de esta forma y con el propósito de aumentar el rango de variación para los distintos escenarios con el objetivo de contemplar un análisis de sensibilidad completo, se utilizó el doble de este valor, planteando un crecimiento estimado del doble del esperado y, de igual forma, considerando un decrecimiento del mismo. Esto se realiza

para los pronósticos de RSR y RO. Tomando en cuenta la Ley Orgánica de Régimen Especial de la Provincia Galápagos (2015), la cual regula y controla la migración hacia las islas, se trabaja con el análisis considerando el escenario medio pronosticado, ya que es el que menor variabilidad contempla y se considera el más probable. De igual manera, se trabajó con el mes de mayor demanda pronosticado hasta junio de 2018 para evaluar la respuesta de la capacidad del centro.

Para analizar la capacidad de manejo de residuos del centro, se calculó la capacidad del proceso actual de RSR, RO, maleza y chatarra en metros cúbicos ( $m^3$ ), en relación al recurso humano y al tiempo que demora en procesar dichos volúmenes para cada actividad realizada. Se consideró la capacidad volumétrica de la tolva de recepción, contenedores en banda de selección y compactadoras 1, 2 y 3.

Para realizar el cálculo de capacidad de procesamiento de RSR se realizó una conversión de kg a  $m^3$ , esto para estimar el tiempo de procesamiento en la banda de selección. Los camiones más llenos que ingresan al centro llegan casi al 75% de su capacidad volumétrica total, lo que equivale a aproximadamente  $9 m^3$  de residuos; de esta forma, se consideraron las observaciones de los mayores pesajes de camiones recolectores y se dividieron los pesos por la capacidad volumétrica registrada. Posteriormente, se calculó una media, la cual se utilizó como valor referencial de conversión de kg a  $m^3$  para residuos reciclables. En base a los datos de tiempos observados de vaciado de la tolva de recepción en el mes de junio de 2017, se calculó el tiempo de procesamiento por  $m^3$ . De igual forma se hizo la conversión para residuos orgánicos y maleza considerando la capacidad volumétrica observada en los recolectores y tomando en cuenta los datos de pesajes más significativos; adicionalmente, se registraron los tiempos de procesamiento por cada uno de estos materiales. Los valores estimados de conversión de kg a  $m^3$  para residuos orgánicos y

maleza se calcularon de la misma forma. Para el caso de chatarra, se estimó que cada m<sup>3</sup> de chatarra compactada pesaba aproximadamente 360 kg, y de acuerdo a la metodología anteriormente indicada, se registraron tiempos de selección y separación. Tomando en cuenta lo mencionado, se estimó la cantidad de horas de procesamiento y se evaluaron los RRHH necesarios para realizar cada una de las actividades, los resultados de dicho análisis se pueden observar a detalle en el Anexo 8.

Teniendo en cuenta los procesos foco del presente estudio, se realizó un diagrama de causa y efecto, el cual sirve para identificar causas raíces de los problemas existentes, del proceso de banda de selección, en cual el efecto está relacionado a la baja eficiencia, el diagrama se presenta en el Anexo 9. En el análisis de causas se analizaron los desperdicios en el proceso de banda de selección realizando un análisis de operación, el cual sirve para definir actividades, identificar desperdicios y actividades que agregan y no agregan valor (Avilés, 2017). Se evidencia que solo un 45% del tiempo total destinado a esta actividad agrega valor al proceso, mientras que el 55% del tiempo corresponde a actividades de transporte y desperdicios. El tiempo destinado a transporte corresponde a un 3% del total mientras que el tiempo considerado como desperdicio equivale a un 52% del tiempo total.

Se observó que cada operario selecciona entre 5 y 7 residuos distintos, existen varios contenedores para un mismo residuo y las actividades que realizaba cada operario variaban para cada día laboral, ocasionando que los operarios cometan errores al realizar una clasificación ineficiente de residuos. Esto también ocasiona que los operarios, al seleccionar distintos tipos de residuos, dejen de seleccionar ciertos residuos ya que consideran que van a ser seleccionados por los siguientes operarios y, en caso estos no lo hagan, los residuos van al relleno sanitario cuando en realidad son residuos reciclables o tratables de alguna manera.

Adicionalmente, se estudiaron otras causas de problemas como paradas frecuentes en la banda de selección y, en base a lo que se observó, se tiene que una de las razones más frecuentes es debido un diseño inadecuado en la conexión entre la banda de selección y la banda inclinada que lleva los residuos no seleccionados hacia la tolva de residuos no reciclables, este problema se puede observar en la figura izquierda del Anexo 12.

Considerando las actividades de compactación, se realizó un diagrama de causa y efecto del proceso en el cual se analizaron las posibles causas de la baja eficiencia, el diagrama se muestra en el Anexo 13.

A través del análisis de causas del problema de compactación, se determinó la cantidad de producción de pacas (material compactado en forma de ortoedro) por día, esto se realizó tomando en cuenta los pesos observados y mencionados en la etapa de medir, así como los porcentajes por tipo de material. Con los datos de tiempos de prensado de pacas en cada una de las compactadoras, se calculó el tiempo necesario para realizar el número de pacas diarias estimadas por compactadora. El análisis de tiempo estimado por cada paca, por tipo de material, se presenta en la Tabla 6, y aquellos que presentan (n/a) es porque no aplican, es decir, esas compactadoras no realizan pacas de ese tipo de material.

**Tabla 6.** *Tiempo en realizar paca por compactadora y su desviación en minutos.*

Material	Compactadora 1	Compactadora 2	Compactadora 3
Cartón	12.58 ± 3.70	23.89 ± 4.84	16.82 ± 4.64
Plástico 1	(n/a)	53.71 ± 9.58	(n/a)
Fundas	(n/a)	(n/a)	12.98 ± 2.49
Plástico duro	26.14 ± 2.55	43.19 ± 15.7	(n/a)
Dúplex	19.56 ± 4.9	(n/a)	(n/a)
Plástico 5	18.92 ± 1.78	60.78	(n/a)
Plástico 2	(n/a)	(n/a)	26.34 ± 4.67
Latas	(n/a)	43.05 ± 9.49	(n/a)
Tetrapak	(n/a)	(n/a)	25.94 ± 4.24
Aluminio	13.66 ± 6.05	(n/a)	(n/a)
Chatarra	31.74	(n/a)	(n/a)

Una vez determinada la capacidad de procesamiento en las compactadoras, se elaboró un análisis SMED (Single Minute Exchange Dice), el cual sirve para optimizar tiempos de preparación de equipos y para identificar actividades internas, externas y desperdicios dentro del proceso de compactación. Se tiene que las actividades de preparación para la realización de pacas, traer los materiales a compactar y medir y cortar los zunchos, pueden convertirse en actividades externas. Se identificó pérdidas de tiempo debido a la necesidad de transportar y buscar herramientas en los puestos de trabajo.

Debido a la falta de estandarización en el proceso de compactación, en cuanto a pacas y zunchos y, considerando que existe una relación directa entre dimensiones de pacas y número de pacas que caben en los contenedores de embarque, se estudió el espacio en los contenedores y las pacas que caben dentro del contenedor. Actualmente, se tiene que la capacidad volumétrica de los contenedores que utilizan para el embarque es de 31.2

m<sup>3</sup>. Se calculó un promedio de tamaño de pacas por compactadoras y, según la observación de cómo se hacía el embarque, se calculó cuántas pacas entran por contenedor por tipo de compactadora. Como resultado, se tiene que en promedio el espacio de utilización del contenedor es de 74.9%; y, en base a la cantidad de pacas necesarias a producir en una semana (de acuerdo a la demanda estimada), se necesitan 8.31 contenedores semanales, el detalle de este análisis se presenta en el Anexo 16.

Se observó que las pacas al salir de la compactadora sufren una expansión debido a que ya no están sometidas a presión, por esto se calculó la desviación estándar del largo y ancho de las pacas listas versus las dimensiones de la compactadora en la cual fueron realizadas, obteniendo así un porcentaje de expansión para calcular posteriormente una medida estándar.

Actualmente el embarque de pacas se realiza aproximadamente una vez cada dos semanas, lo cual es insuficiente para que todas las pacas producidas sean despachadas del CRFV hacia Guayaquil, lo que ocasiona que sea necesario el almacenamiento de pacas en lugares poco convenientes, como lugares sin techo, lo cual genera deterioro en los materiales y desperdicio en transporte para su almacenamiento. Por esto se realizó un diagrama de espagueti, el cual permite conocer el desperdicio presente por desplazamiento dentro de un proceso (Avilés, 2017), de la operación actual y se calculó que, por almacenar una paca por cada tipo de material, se recorren en la actualidad cerca de 2632 metros.

Para evaluar las actividades de los operarios, se realizó un diagrama de Gantt para modelar cómo se están llevando a cabo las actividades en una semana laboral. Actualmente hay actividades que no se realizan por falta de capacidad como: trituración de vidrio y selección de chatarra. La trituración de maleza se realiza esporádicamente, durante el tiempo de toma de datos para el presente estudio, se observó dos veces dicha

actividad. De igual forma se observó que existe mucho desperdicio de tiempo en el centro ya que los horarios no se cumplen y las holguras que se toman los operarios en la actualidad se estiman en casi un 20% del tiempo diario disponible total de trabajo.

Para llevar a cabo el proceso de compostaje, se tritura maleza en el área de compostaje para que ésta sea mezclada con los RO. En la realización de este proyecto se observó que existe una distancia considerable de recorrido entre el lugar de almacenaje de maleza y el área de trituración, para determinar la distancia de recorrido, se realizó un diagrama de espagueti de las áreas involucradas, estimando una distancia de recorrido desde la zona de maleza al lugar de trituración, por cada pala de maleza de la minicargadora, es de 770.62 metros.

En cuanto al área de compostaje, se observó que el proceso no se lleva a cabo de forma adecuada, los residuos ingresan al biodigestor con fundas plásticas y otros desechos adicionales (sacos, cubiertos de metal, etc) no adecuados para el proceso. Se realizó un control de temperatura, humedad y pH en las pilas de compostaje. El detalle de las mediciones realizadas se presenta en el Anexo 21.

Como se mencionó en la etapa 'Definir', no se está realizando la trituración del vidrio actualmente. Por lo tanto, se realizó la propuesta de un diseño de una planta de trituración para vidrio.

Finalmente, se realizó un análisis económico general, teniendo en cuenta la venta de pacas en el continente, y la venta de los materiales de procesamiento local, para estudiar la rentabilidad del CRFV en relación a la venta de material reciclable. Se consideró la cantidad estimada de pacas almacenadas por tipo de material y un peso medio por paca de cada material y con esto se calculó el peso total por material que se encuentra almacenado en el CRFV. En base a esto, se realizó una investigación sobre los posibles

precios en el mercado de cada uno de estos materiales. Se propusieron tres escenarios. El primero es el de menor precio de venta, considerando la venta del material a recolectores primarios de residuos. El segundo es el precio de venta a centros de acopio de materiales reciclables y, por último, el tercer caso con un precio de venta más alto, es el de las fábricas que reciclan los materiales directamente para producir materia prima. En base a esto, se hizo el análisis teniendo en cuenta la venta a personas que realizan acopio, dejando así un margen de variación en los precios de venta final. Se consideró adicionalmente un costo de transporte de aproximadamente 15% (Clavijo et. al., 2014), del valor de cada kg para cada material teniendo en cuenta el transporte de los materiales desde el puerto de Guayaquil hacia los centros de acopio que realicen la compra de dichos materiales.

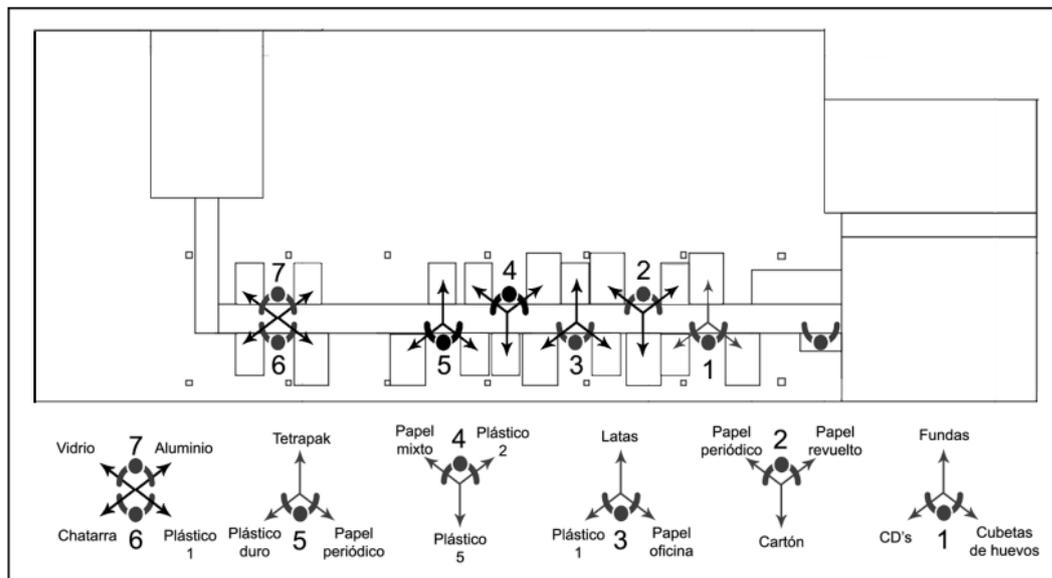
#### 2.4 Etapa 'Mejorar'

En esta etapa se elaboraron los diagramas de flujo propuestos de los procesos, esto se realizó tomando en cuenta las mejoras que se proponen para los procesos de interés.

La primera mejora se planteó para la banda de selección. Se propuso disminuir la cantidad de residuos que cada operario selecciona a tres residuos por operario en base al porcentaje de peso de llegada de cada residuo. Esto se plantea diseñando los residuos por puesto, de tal forma que, ningún operario sobrepase un 11% del peso total estimado en base al cálculo de pesos diarios por material que recibe el centro, considerando los 3 residuos que se le asignan a cada puesto de selección.

En cuanto al vidrio y a la chatarra no voluminosa, debido a que su densidad, es mayor a la de otros residuos y representan un porcentaje mayor del peso total, se asigna a una estación de dos operarios que solo seleccionarán dos residuos cada uno. Por lo tanto, al reducir la cantidad de residuos a seleccionar por operario, se facilita la especialización

de los puestos de trabajo, se reduce la distancia de transporte, se disminuyen las demoras y al reducir el uso de memoria debido a la disminución de residuos a seleccionar, se logra minimizar la confusión (Wickens et. al., 2014). El detalle de la propuesta se puede observar en la Figura 8 y el análisis cuantitativo se muestra en el Anexo 10.



**Figura 8.** Detalle de propuesta para puestos de selección en banda.

Adicionalmente, se planteó una segunda propuesta para disminuir los desperdicios de movimiento y la confusión en la banda, esta consiste en desarrollar un mecanismo Poka Yoke de control visual el cual sirve para reducir errores, y se puede ver en el Anexo 11. Esta propuesta sirve para reforzar la memoria de los operarios y para que, al lanzar los residuos al contenedor, éstos no se salgan del mismo y así se disminuya la cantidad de tiempo de limpieza necesaria y el re procesamiento que este error ocasiona.

La tercera propuesta de mejora en banda de selección propone agregar una estructura que cuente con una escobilla al final de la banda y diseñar mejor la mini tolva de transferencia entre bandas. El diseño de la propuesta se puede observar en el Anexo 12.

La propuesta de mejora en cuanto a las actividades de traer material a compactar y de medir y cortar zunchos, es designar a uno de los dos operarios que trabajan en compactadora 2, de tal forma que este sea un ayudante que se dedique a realizar actividades de apoyo en las 3 compactadoras, su cargo será designado como asistente de compactación.

Considerando el análisis de pacas que producen por día por todos los materiales, el tiempo total necesario por día para el asistente de compactación se estima en 2.95 horas, el detalle del análisis se presenta en el Anexo 14. Con el objetivo de reducir el desperdicio de movimiento de materiales en el centro, se utilizó la herramienta 5s, la cual ayuda a eliminar desperdicios producidos por una mala organización en el puesto de trabajo (Avilés, 2017), y en este caso se propuso la construcción de una caja metálica, para facilitar el colocar los materiales y las herramientas en un mismo lugar, de esta forma se facilita el trabajo del operario y se mejora el orden y la limpieza en el puesto de trabajo. Adicionalmente, un mecanismo agregado de la caja mencionada es que cuente con dos sujetadores verticales elevados para colocar los zunchos necesarios para la jornada del día de una forma ordenada, facilitando así las labores de sellado de pacas, el detalle del diseño se puede observar en el Anexo 15. Los zunchos se colocan a lo largo y ancho de la paca para fijar su contenido y se propone que sea el asistente de compactación quién se encargue de preparar los zunchos necesarios para cada compactadora por jornada diaria.

Dado que la única medida variable en las pacas, es la altura, se realizó un reajuste de la altura de las pacas en base a la optimización de espacio por contenedor de despacho final hacia el continente. Para esto se propone realizar un sistema Poka Yoke de control visual en cada una de las compactadoras con la altura necesaria de las pacas, considerando su expansión posterior y optimizando el espacio del contenedor para el

embarque hacia el continente, al mismo tiempo busca estandarizar el largo de los zunchos necesarios para facilitar las labores del ayudante. El detalle de este análisis se puede observar en el Anexo 17.

Con el objetivo de mantener un flujo constante de material en el centro y optimizar los lugares de almacenamiento designados por material, se propone que se realice el embarque al continente dos veces por semana para despachar todas las pacas que salen semanalmente con la cantidad de contenedores previamente señalados; de esta forma el lugar destinado para almacenamiento se reduce a los espacios que están techados y habilitados para almacenar correctamente los materiales seleccionados. Así también se logra que las pacas se almacenen lo más cercano posible al lugar en el cual se compactan, reduciendo significativamente el transporte necesario.

Considerando las propuestas previamente mencionadas para banda de selección y compactadoras, se elaboró un diagrama de Gantt de actividades semanales propuesto. El operario de banda de selección que se logra reducir con las propuestas planteadas, se propone sea capacitado y designado a manejar la segunda mini cargadora del centro. Asimismo, se logra reducir el tiempo total de un operario adicional, el cual se propone que realice el control de ingresos y pesajes de vehículos, con el objetivo de registrar información más precisa y controlar que no ingresen personas ajenas al centro a disponer sus residuos en zonas inapropiadas complicando el manejo general del CRFV. Por último, se propone que se realicen todos los procesos necesarios para el procesamiento de todos los materiales, incluyendo la selección de chatarra y la trituración del vidrio.

En cuanto al proceso de trituración de maleza, se propone que a la trituradora de maleza se le asigne un lugar más cercano al área de maleza, de esta forma se reduce el transporte necesario entre las áreas de maleza y compost, y se promueve a la trituración

frecuente de maleza para reducir su volumen y optimizar el espacio que en la actualidad ocupa, el diagrama de espagueti elaborado se presenta en el Anexo 20.

Finalmente, se elaboró una propuesta de diseño para la planta de trituración de vidrio tomando en cuenta los requerimientos de los involucrados en el proceso. El gráfico de la planta propuesta se muestra en el Anexo 22 y el diagrama de flujo del proceso propuesto se puede observar en el Anexo 23.

El siguiente paso en esta etapa es realizar la implementación de las mejoras propuestas y promover los cambios necesarios en cada actividad, para esto se debe contar con un presupuesto asignado, un plan de actividades y la colaboración de las personas encargadas del CRFV. Una vez realizados los cambios es necesario desarrollar tiempos estándar para cada actividad que se lleve a cabo en el CRFV.

### 2.5 Etapa ‘Controlar’

Para llevar a cabo esta etapa es necesario implementar indicadores de interés para los procesos y monitorear su desempeño en el tiempo; así mismo se deben implementar indicadores económicos para las propuestas realizadas. Debido al alcance del proyecto, esta etapa no se implementa. La etapa de controlar puede ser considerada para estudios posteriores, una vez implementadas las mejoras.

## 3 Resultados

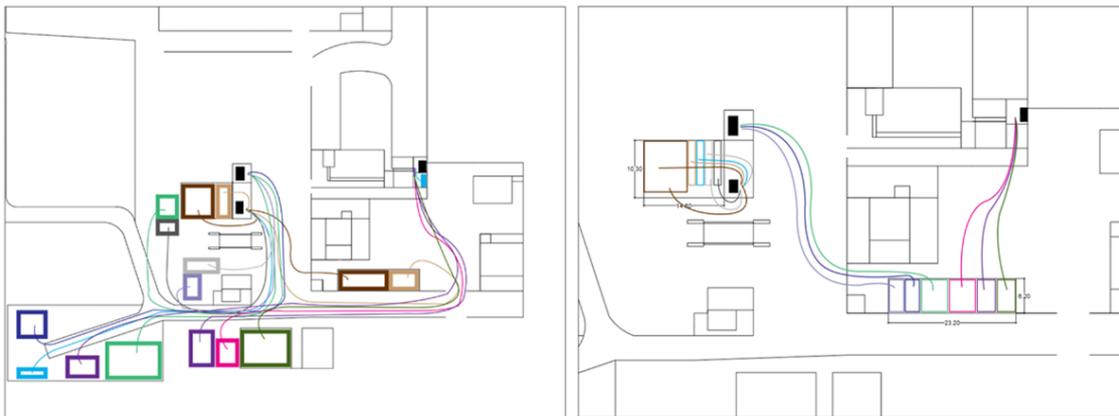
De acuerdo a las observaciones, cerca del 71% de los camiones recolectores se pesan al ingresar al centro, aquellos que no son pesados, reciben un estimativo subjetivo por parte de los conductores, lo cual hace que el ingreso de datos de pesaje en el CRFV no sea documentado y tenga poca fiabilidad.

Al reorganizar los puestos en la banda de selección se reduce un operario, quedando 7 operarios realizando la clasificación de desechos y 1 operario alimentando la banda transportadora. Para las propuestas, en el proceso de clasificación de residuos reciclables, se realiza un análisis costo – beneficio, se estimó un costo de implementación de mejoras de \$2478.35 correspondiente a materiales e instalación. En cuanto a beneficios estimados se tiene un total de beneficios mensuales de \$2343.75 considerando la disminución de un operario para llevar a cabo el proceso. La inversión será recuperable en un plazo de 1.06 meses. Al implementarse las propuestas, se tiene que el tiempo total que agrega valor al proceso en las actividades de banda de selección será de cerca del 85% del tiempo total. Considerando que, para los operarios el trabajo demanda atención, concentración y el estar de pie, es importante considerar un porcentaje de holgura en el tiempo por fatiga asociada al puesto de trabajo y por fatiga personal (Niebel, 2009), de esta forma se considera un 8% de holgura del tiempo total de cada actividad, así mismo es importante considerar tiempos de descanso. Con esto, se tiene que el porcentaje del tiempo que agrega valor en la actividad será de aproximadamente 77%, logrando aumentar la eficiencia del proceso en un 32%. Adicionalmente, se logra optimizar los RRHH, considerando que se disminuye el requerimiento de un operario para esta actividad, mismo que puede realizar otras actividades en el centro.

Tomando en cuenta el proceso de compactación y, considerando que se llevan a cabo las mejoras propuestas para estos procesos, se reduce aproximadamente en un 10%, 27% y 35% el tiempo de prensado de las compactadoras 1, 2 y 3 respectivamente. Una vez optimizadas las alturas de las pacas, se tiene que el promedio de utilización de espacio por contenedor es de 87.9% y serán necesarios aproximadamente 6.11 contenedores semanales, reduciendo así el número de contenedores necesarios estimado

en la actualidad. Considerando las propuestas planteadas a los procesos de compactación, se realiza un análisis costo-beneficio, el cual da un costo de inversión total de \$1934.24 correspondiente a materiales e instalación y un beneficio total estimado de \$562.15 por mes debido a la reducción de 1 hora de trabajo diario por 3 operarios. Considerando estos valores, el tiempo en recuperar la inversión se estima en 3.44 meses.

En caso de implementarse el embarque de residuos clasificados hacia el continente y considerando que se designan los puestos de almacenamiento propuestos, se tiene una reducción de la distancia total recorrida de un 73.88% para almacenar las pacas facilitando así el despacho y una mejor conservación de los materiales. Los diagramas de espaguete actual y propuesto se pueden observar en la Figura 9. Aquí se evidencia la reducción en transporte y en lugares de almacenamiento por tipo de material.



**Figura 9.** Diagramas de espaguete en estado actual y en estado propuesto.

Considerando la planeación de actividades desarrollada en el diagrama de Gantt propuesto y, tomando en cuenta el tiempo estimado que agrega valor en una semana, se tiene que éste es de 79.41%, esto quiere decir que el tiempo que agrega valor aumenta en un 34%. Actualmente el CRFV no tiene la capacidad para procesar la demanda estimada hasta junio de 2018. El detalle de este análisis se presenta en el Anexo 18.

En el escenario propuesto se calculó el tiempo que agrega valor durante una semana, mismo que resulta cercano al 93% del tiempo total disponible, de esta forma se determina que sí existe capacidad para realizar todas las actividades en el centro. El diagrama de Gantt de actividades propuestas se presenta en el Anexo 19.

En cuanto al manejo de maleza, al modificar el área de trituración, se disminuye la distancia total recorrida en un 39.09% de la distancia actual y se lograría un procesamiento continuo y ordenado de este material.

En el proceso de compostaje se observa que el pH, en la mayoría de las pilas, se encuentra ácido, en especial las pilas más cercanas al biodigestor, estas presentan una acidez mayor en comparación con las más alejadas y de mayor tiempo de maduración, lo que puede indicar un mal manejo de lixiviados. Lo mismo ocurre con las observaciones realizadas de humedad relativa y de temperatura. El 66.67% de las pilas de compost tienen una humedad relativa superior al 75% y las pilas de compost que tienen año y medio de maduración cuentan con una temperatura superior a los 60 °C, lo que indicaría una mala calidad en el proceso.

Finalmente, tomando en cuenta el análisis económico realizado vendiendo los materiales a centros de acopio, el valor estimado en pacas almacenadas es cercano a \$50000, esto considerando que se vende todo el material que se encuentra actualmente almacenado en el centro. En cuanto al análisis económico tomando en cuenta los ingresos de: la venta de la producción mensual de pacas al mes pronosticado, la venta de polvo de vidrio para construcción vendiendo la totalidad de la producción y, la venta de compost considerando que se vende la totalidad de la producción; teniendo en cuenta netamente los gastos en salarios estimados para los operadores actuales del centro y sus beneficios anuales, se tiene un balance mensual positivo. Con lo que se estima que el centro puede ser rentable a futuro.

#### 4 Discusión

Considerando los pronósticos realizados para este trabajo, la tendencia creciente que se observa en los gráficos de residuos reciclables y orgánicos, podría deberse al crecimiento poblacional que se ha registrado en la isla Santa Cruz en los últimos años. En cuanto a la tendencia decreciente observada para los residuos de maleza y chatarra, éstas podrían deberse a varios factores; el decrecimiento en pesos registrados de maleza podría deberse al comportamiento climático, ya que en temporadas prolongadas de sequía este tipo de residuo disminuye (Martinez, Moreno y Rincón, 1994). La tendencia decreciente de residuos tipo chatarra puede deberse al hecho de que no se registran los pesos de los vehículos particulares y se pudo observar que son principalmente éstos los que depositan chatarra en el centro. Se solicitó información adicional para trabajar con mayor profundidad los pronósticos por cada tipo de material, pero no se tuvo respuesta por parte del CRFV, lo cual fue un limitante para este proyecto. Se trató de analizar varias situaciones del comportamiento de la demanda por lo cual se realizó el análisis de sensibilidad de la misma; sin embargo, debido a limitaciones de alcance se profundizó el análisis con el escenario medio.

Es necesario aclarar que las conversiones realizadas cuentan con una alta variabilidad debido a la variación en los tipos de residuos que ingresan al centro, esto se puede estudiar con mayor profundidad si se consideran los hábitos de consumo en la isla, los cuales tienen una relación directa con la generación de RS (Ojeda, Lozano, Quintero, Whitty y Smith, 2008). Adicionalmente se podría realizar un estudio enfocado para determinar valores más precisos y exactos para la conversión de kg a m<sup>3</sup>.

Para desarrollar tiempos estándar para las actividades estudiadas, hace falta estudiar durante un tiempo más prolongado cada una de ellas, esto debe hacerse una vez implementadas las mejoras del caso y cualquier otra mejora que sea factible.

Al momento de investigar sobre los precios de los materiales en el mercado ecuatoriano, no se toma en cuenta la demanda con la que cuenta cada uno de estos, por este motivo no se tiene certeza de que la venta de todos los materiales se pueda dar para la totalidad de la producción futura; pero, se considera que la industria que utiliza materiales de desecho va en aumento, por lo cual se utilizó un escenario optimista para el análisis económico.

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

Los pronósticos mientras más largo es su horizonte, menos precisos son (Nahmias, 2014). Por esto, es necesario aclarar que los valores calculados sobre los mismos pueden variar. De esta manera, se recomienda realizar más observaciones sobre la cantidad de material que ingresa al centro, de esta manera se podrá calcular los pronósticos en un menor horizonte de tiempo y reducir los errores, así puede analizar la situación con datos más precisos y exactos. Asimismo, El análisis realizado en este proyecto toma en cuenta el escenario medio estimado de los pronósticos hasta junio de 2018 por lo que se recomienda ampliar el análisis considerando los escenarios propuestos en el análisis de sensibilidad.

Si bien no se puede concluir que las conversiones y estimaciones realizadas para este proyecto fueron perfectamente precisas, el proyecto presenta alternativas atractivas a ser aplicadas en el centro y que al mismo tiempo sean el inicio de otros proyectos que den la continuidad y mejora a lo propuesto y a un adecuado manejo del centro. Se recomienda realizar estudios más exhaustivos para determinar valores de conversión de kg a m<sup>3</sup> para los diferentes residuos considerados en este proyecto y buscar mejoras continuas en lo que es clasificación, separación y manejo de los residuos en todas las áreas expuestas en el presente estudio.

Se recomienda implementar las propuestas dadas en el presente proyecto y realizar un estudio de validez y de control de las alternativas planteadas.

Debido a que actualmente no se tiene la capacidad para realizar todas las actividades que el centro requiere, se recomienda implementar las propuestas mencionadas en el presente trabajo y organizar los recursos humanos principalmente, de esta manera, el centro sí podrá realizar todas las actividades necesarias para su correcto funcionamiento y tomar un mejor camino de manejo de los residuos en la isla. Por otro lado, al analizar la banda de selección, se determinó que su operación es ineficiente, al implementar las propuestas mencionadas en este trabajo se esperaría aumentar en al menos un 30% su eficiencia, sobre todo considerando que este proceso ocupa cerca del 60% de los recursos humanos, mejorando de manera significativa el rendimiento.

El proceso de compactación también se considera un proceso ineficiente debido a sus desperdicios y faltas en estandarización dentro de las actividades, aplicando las propuestas mencionadas, se reducen tiempos y mejora su eficiencia en un 25% aproximadamente. Al realizar el análisis de este proceso se está utilizando el tiempo medio de prensado de pacas, por lo que se recomienda realizar un estudio más profundo de causas de variación del tiempo y posteriormente estandarizar los tiempos de prensado por tipo de material en cada compactadora.

Se recomienda realizar un análisis de la operación del manejo de maleza con más detalle, tomando en cuenta la implementación de camiones recolectores trituradores.

Dado que el proceso de residuos orgánicos cuenta con varios problemas, comenzando por la clasificación en fuente hasta la falta de parámetros de control en el proceso de compostaje, se recomienda realizar un estudio más profundo para mejorar y diseñar un proceso eficiente para residuos orgánicos. Incluso, sería recomendable que se realice un

estudio puntal en el proceso de compostaje para determinar la naturaleza del material que se tiene en la isla y diseñar el proceso de compost de forma tal que se tenga una buena calidad de compost y se minimice el tiempo para su producción.

Un tema que no ha sido foco del presente estudio, pero que es de alta relevancia, la Seguridad Industrial, se puede comentar que los operarios están expuestos a varios riesgos, comenzando desde la mala y baja utilización de sus equipos de protección personal (EPP), hasta riesgos potenciales de materiales corto-punzantes y ambientes tóxicos para la salud. Se recomienda que se realice un estudio de salud y seguridad ocupacional para poder disminuir y eliminar los riesgos presentes.

A futuro, es recomendable realizar un análisis para la posible implementación de máquinas automatizadas para los procesos de selección de reciclables, procesamiento de residuos orgánicos y trituración de maleza.

Teniendo en cuenta el análisis económico realizado en este proyecto, se recomienda realizar estudios de mercado en la isla de Santa Cruz para evaluar la demanda de compost y vidrio triturado para la construcción y la factibilidad del negocio con ambos productos. Adicionalmente, para este proyecto se consideró la venta de los materiales en el continente a la segunda instancia de la cadena, es decir los acopiadores, sería interesante realizar presupuestos considerando la venta a la tercera y última instancia de compra ya que es la que más valor paga por kg de material.

Para realizar la venta continua del material reciclado, el primer paso debe ser revisar y reglamentar la ley orgánica especial que rige las islas Galápagos, para de esta forma regular de forma clara y explícita las salidas de material proveniente de RSR hacia el continente.

Finalmente, si se realiza la implementación de las propuestas planteadas, el CRFV tendrá la capacidad de procesar la totalidad de su demanda hasta junio de 2018 y se considera que tiene la posibilidad de ser rentable en su operación. En caso de no implementarse las propuestas, se estima que, para el mismo mes, el centro no contará con la capacidad para procesar la demanda estimada.

## 6 Bibliografía

Análisis de resultados definitivos: Censo de población y vivienda Galápagos 2015. (2017). INEC. Recuperado en noviembre de 2017 de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia)

Atalaya, J. (2010). Modelo de integración de Manufactura Esbelta - Seis Sigma con principios de Ingeniería Concurrente adaptable a PyME. Tecnológico de Monterrey. Recuperado en noviembre de 2017 de <https://repositorio.itesm.mx>

Avilés, S. (Marzo 2017). *Sistemas de Manufactura*. Universidad San Francisco de Quito. Quito. Clase.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Situación de la gestión de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Recuperado en septiembre de 2017 de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7177>

Banco Mundial. (2017). *Crecimiento de la población (% anual)*. Recuperado en abril de 2017 de <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.GROW>

Barnala, P. (2011). *Optimization of Operating Parameters of a Material Recovery Facility using Lean Six Sigma Techniques*. (Electronic Thesis or Dissertation).

Caracterización de residuos sólidos generados en las islas Santa Cruz, Isabela y San Cristóbal. Provincia de Galápagos. (2015). World Wildlife Fund.

Castillo, M. (2016). *Estudio de fortalecimiento del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales del cantón Santa Cruz*. INFORME NO. 1, Santa Cruz, Ecuador.

Clavijo, S. et al. (2014). *Costos de transporte, Multimodalismo y la competitividad en Colombia*. Panamericana Formas e Impresos S.A. Bogotá.

Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. (2014). INEC. Recuperado en marzo de 2016 de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_ConsProvinciales\\_2014/Municipios-2014/201412\\_GADS](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/Municipios_ConsProvinciales_2014/Municipios-2014/201412_GADS)

Fascículo provincial Galápagos. (2010). INEC. Recuperado en febrero de 2017 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manulateral/Resultados-provinciales/galapagos.pdf>

Hernández-Berriel et al., (2016). Generación y Composición de los Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe. Recuperado en Septiembre de 2017 de <https://www.researchgate.net/publication/312578317>

Jung-Lang, C. (2017). Improving Inventory Performance Through Lean Six Sigma Approaches. *IUP Journal Of Operations Management*, 16(3), 23-38. ISSN: 09726888.

Martinez, M. L., Moreno-Casasola, P., Rincon, E. (1994). Sobrevivencia y crecimiento de plántulas de un arbusto endémico de dunas costeras ante condiciones de sequía. *Acta Botánica Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Montgomery, Douglas C. (2012) *Introduction to Statistical Quality Control*. (7a ed). Wiley

Moreno Casco, J. & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Nahmias, S. (2014). *Análisis de la producción y las operaciones*, 6th Edition. McGraw-Hill: México D.F. VitalBook file.

Niebel, B. & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. Monterrey: McGrawHill

Ojeda, S., Lozano, G., Quintero, M., Whitty, K. & Smith, C., (2008). Generación de residuos sólidos domiciliarios por periodo estacional: El caso de una ciudad mexicana. Universidad Autónoma de Baja California.

Organización Internacional del Trabajo. (2017). *Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo en Singapur*. Recuperado en septiembre de 2017 de [http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS\\_573126](http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_573126)

Peñafiel, D. (2016). Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial al agregado fino. *Universidad Técnica de Ambato*.

Principales Resultados Censo de Población y vivienda Galápagos. (2015). INEC. Recuperado en febrero de 2017 de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Poblacion\\_y\\_Demografia/CPV\\_Galapagos\\_2015/Presentacion\\_CPV\\_G15.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Poblacion_y_Demografia/CPV_Galapagos_2015/Presentacion_CPV_G15.pdf)

Pyzdek, T. & Keller, P. (2014). *Six Sigma Handbook (4a ed)*. United States: McGraw-Hill.

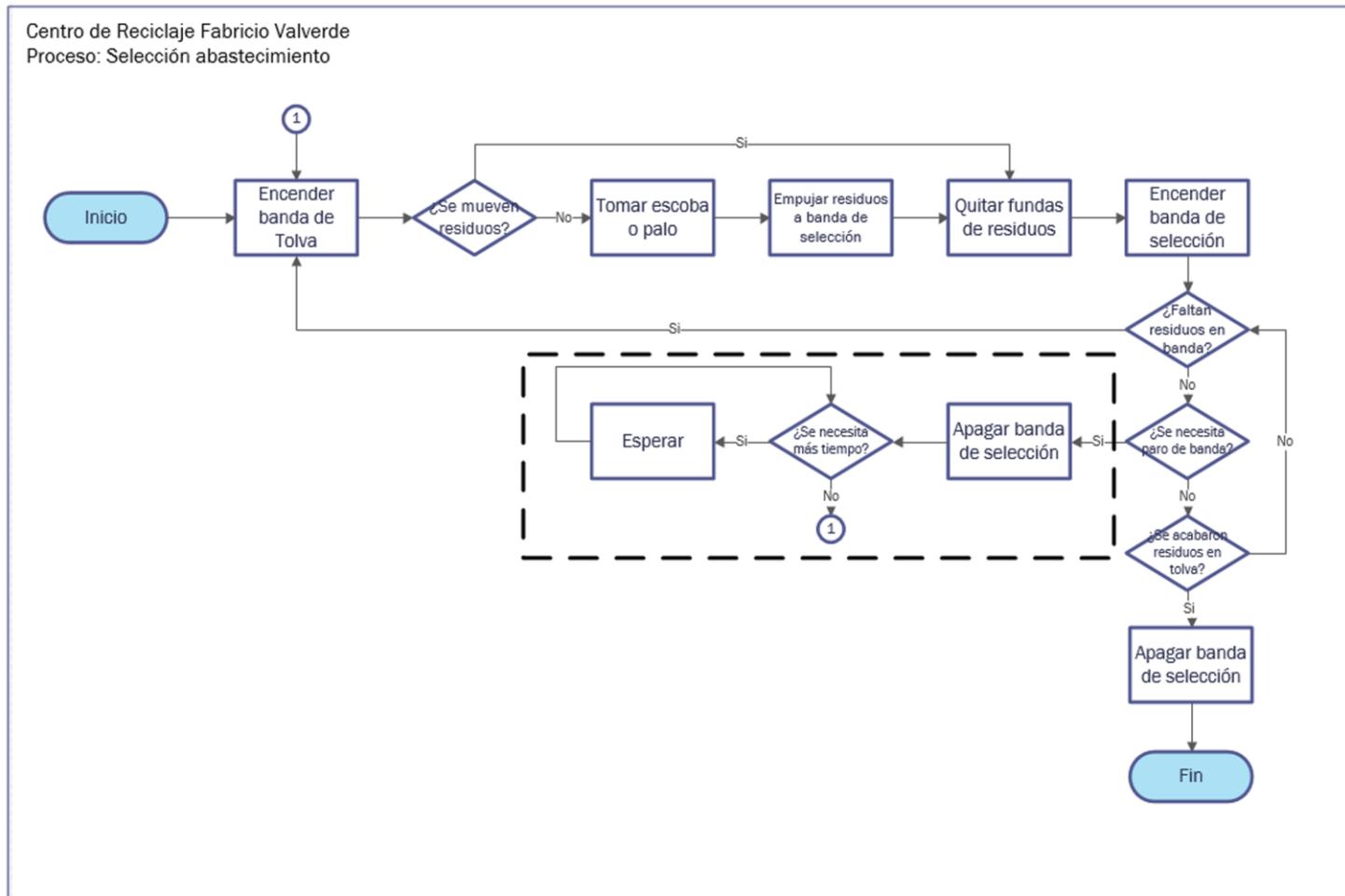
UNESCO. (1978). Lista del Patrimonio Mundial. Recuperado en abril de 2017 de <http://portal.unesco.org/es>

United Nations. (2015). World Population Prospects, the 2015 Revision. Recuperado en abril de 2017 de <https://esa.un.org/unpd/wpp/>

Wickens, C., Lee, J., Liu, Y., Gordon-Becker, S., (2014). *An Introduction to Human Factors Engineering*, 2nd Edition. Pearson Education Limited: England. ISBN: 1-292-02231-0

## 7 Anexos

## Anexo 1: Proceso de selección abastecimiento actual.



**Figura 10.** Diagrama de flujo de proceso de selección abastecimiento actual.

## Anexo 2: Proceso de compactación.

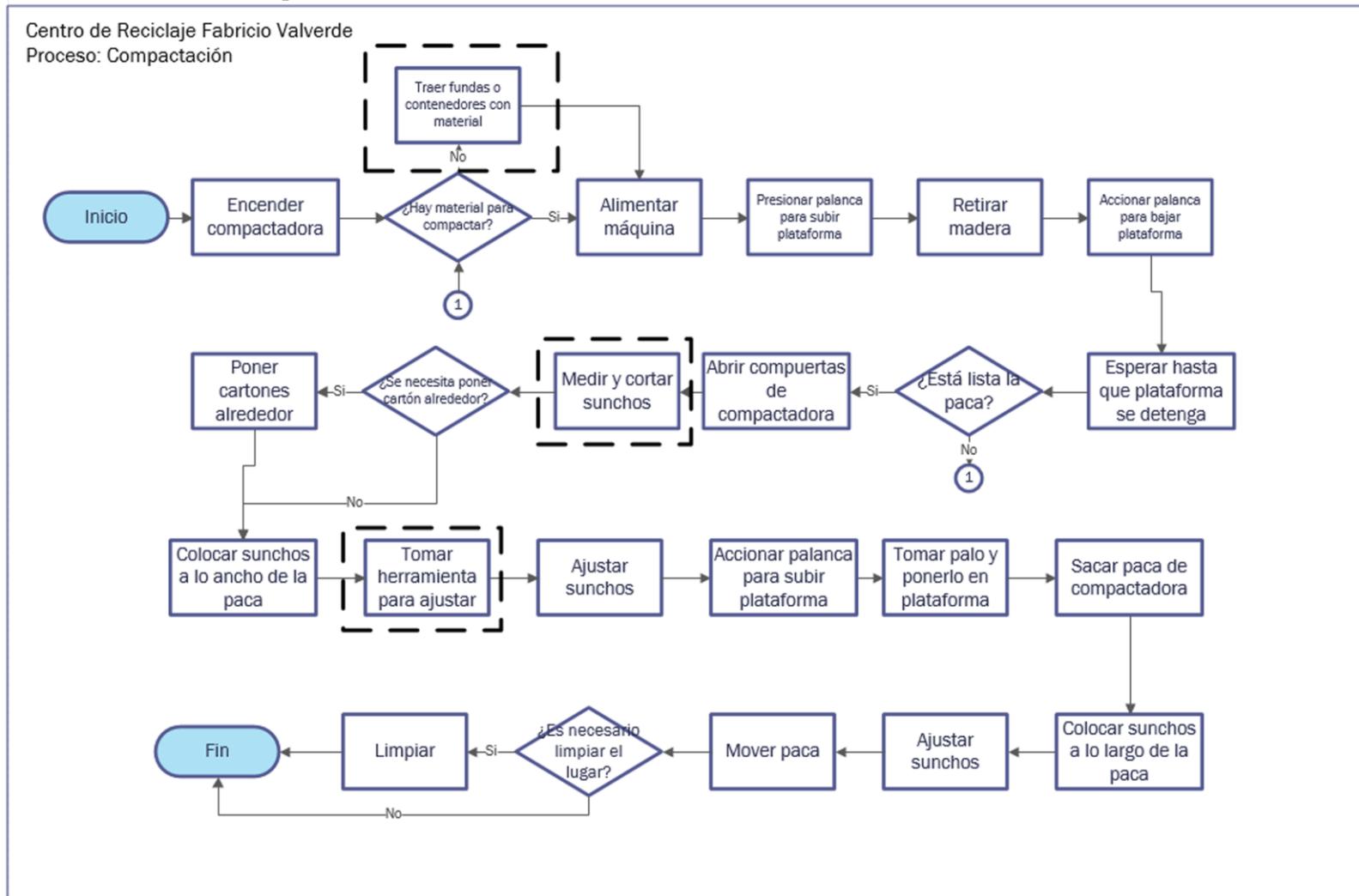
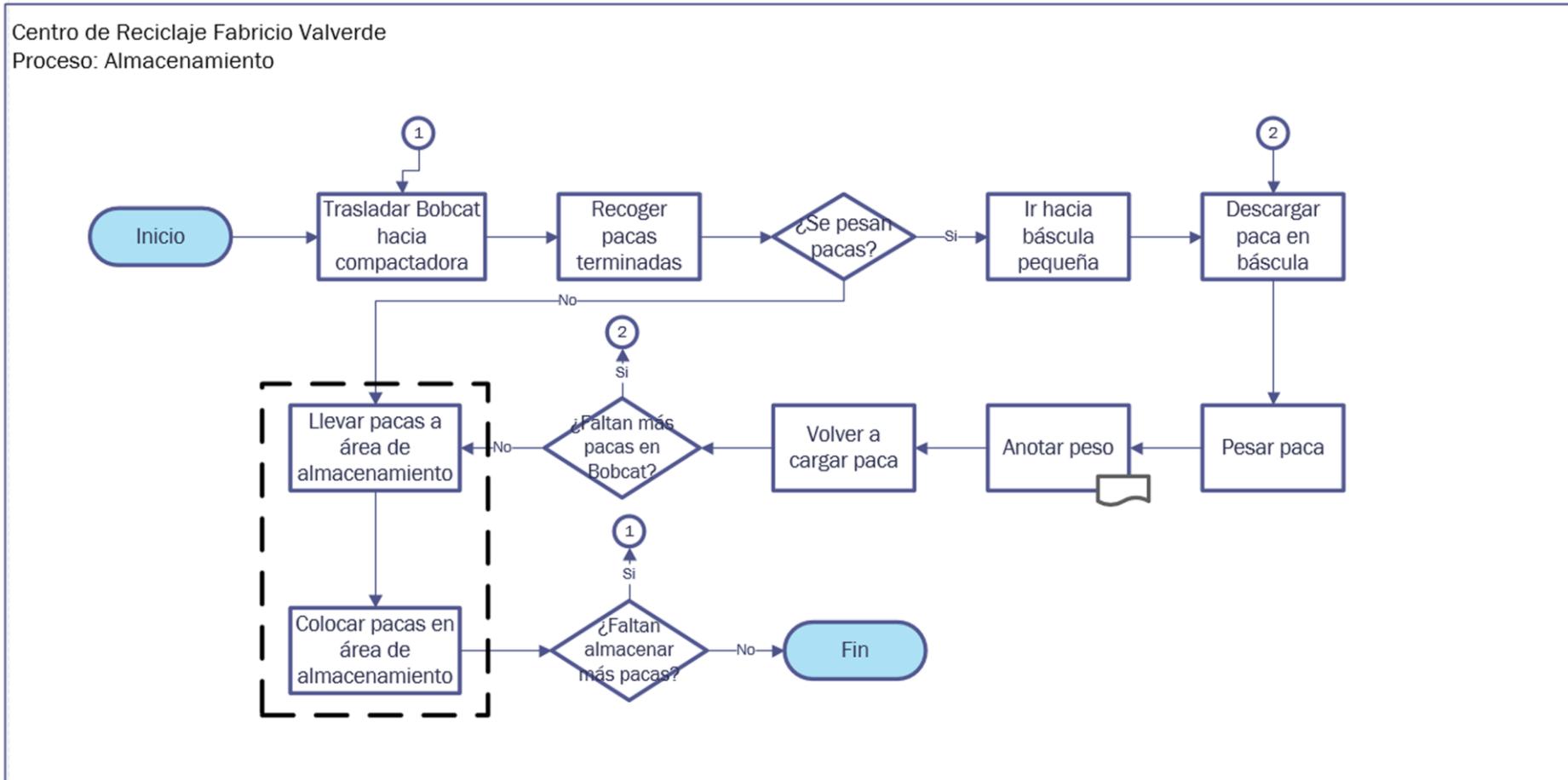


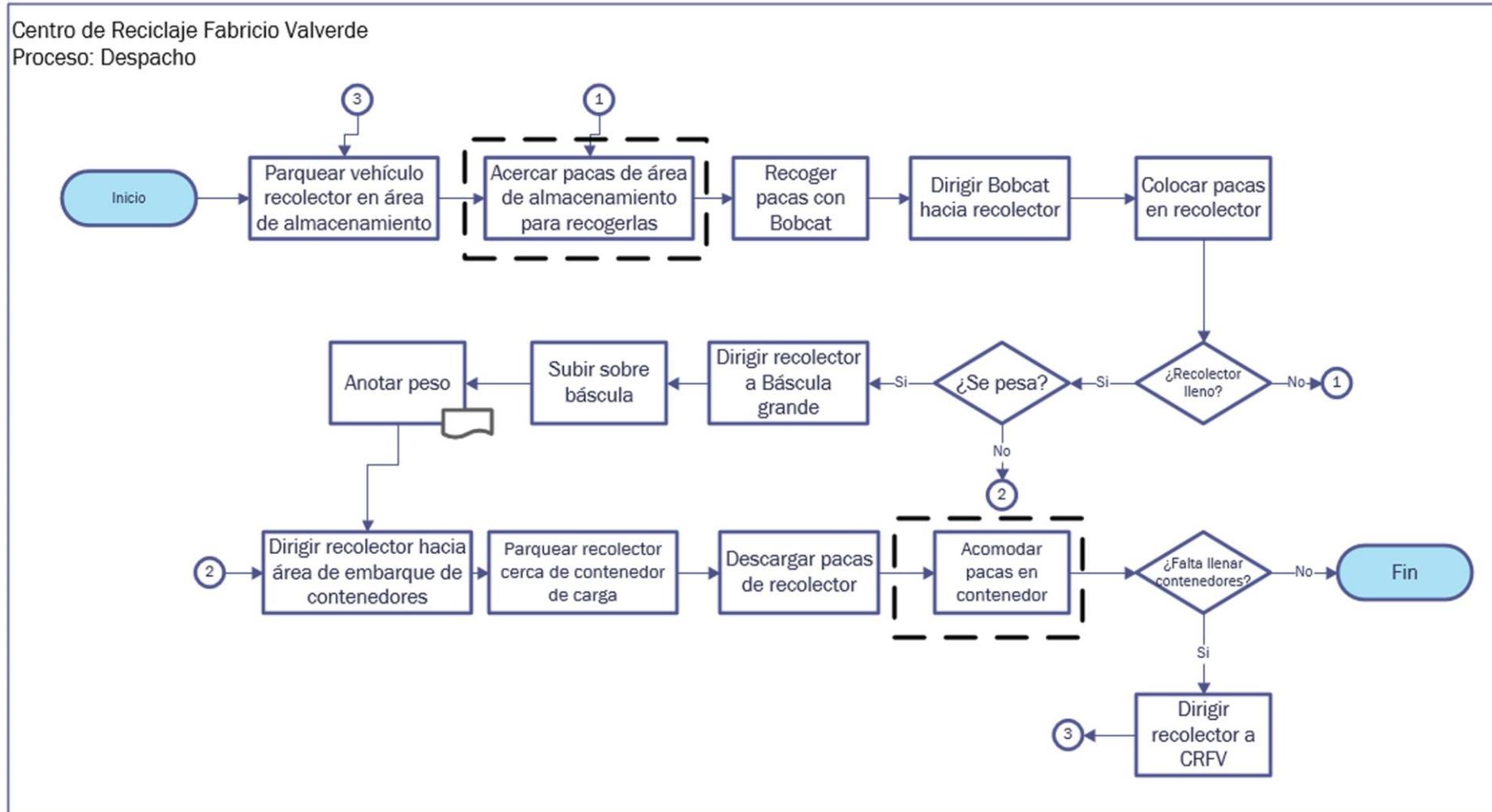
Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de compactación.

## Anexo 3: Proceso de almacenamiento.



**Figura 12.** Diagrama de flujo de proceso de almacenamiento actual.

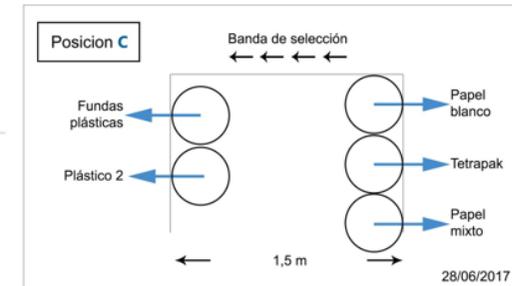
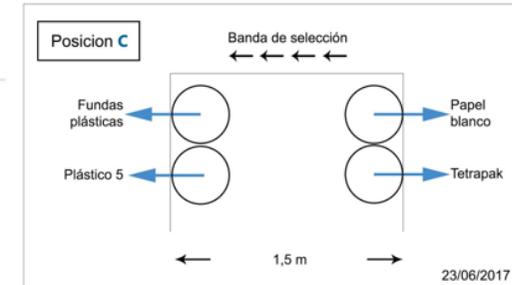
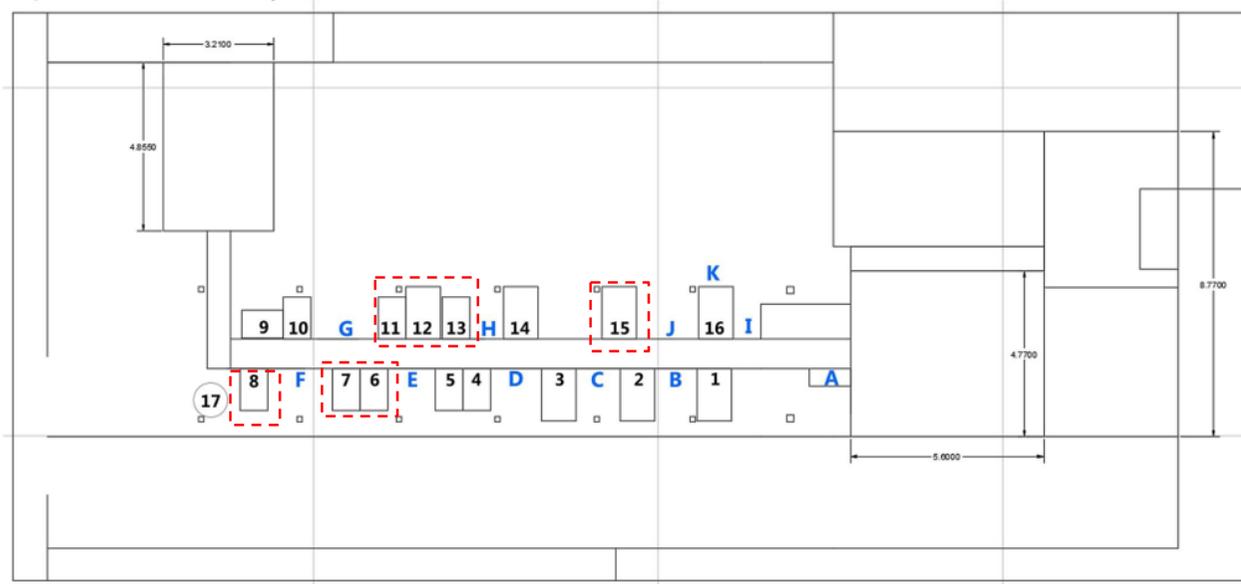
## Anexo 4: Proceso de despacho.



**Figura 13.** Diagrama de flujo de proceso de despacho actual.

## Anexo 5: Layout de distribución en banda de selección.

Disposición de banda de selección 23 de junio de 2017



**Figura 14.** Diagrama de disposición de puesto de selección 23 junio 2017.

Anexo 6: Tiempos de actividades en compactadoras.

**Tabla 7.** *Tiempos tomados en segundos de compactadora 1 de pacas de cartón*

Preparación	Prensado	Medir y cortar	Colocar zunchos	Ajustar y sellar	Colocar zunchos	Ajustar y sellar
		zuncho	ancho	zunchos	largo	zunchos
19.99	694.45	59.81	65.75	366.05	56.67	71.89
38.13	866.05	74.82	65.32	215.86	38.11	53.98
39.13	548.42	13.55	52.84	140.05	66.32	48.37
29.85	1404.47	58.68	50.01	188.56	42.06	34.41
81.77	688.66	46.36	46.01	207.33	28.47	63.15
77.3	546.34	58.12	34.42	243.1	34.76	82.31
58.2	595.52	64.59	66.3	184.3	23.05	69.66
108.46	573.47	72.22	53.71	225.05	31.54	77.95

Anexo 7: Gráficos de datos históricos por tipo de residuo.

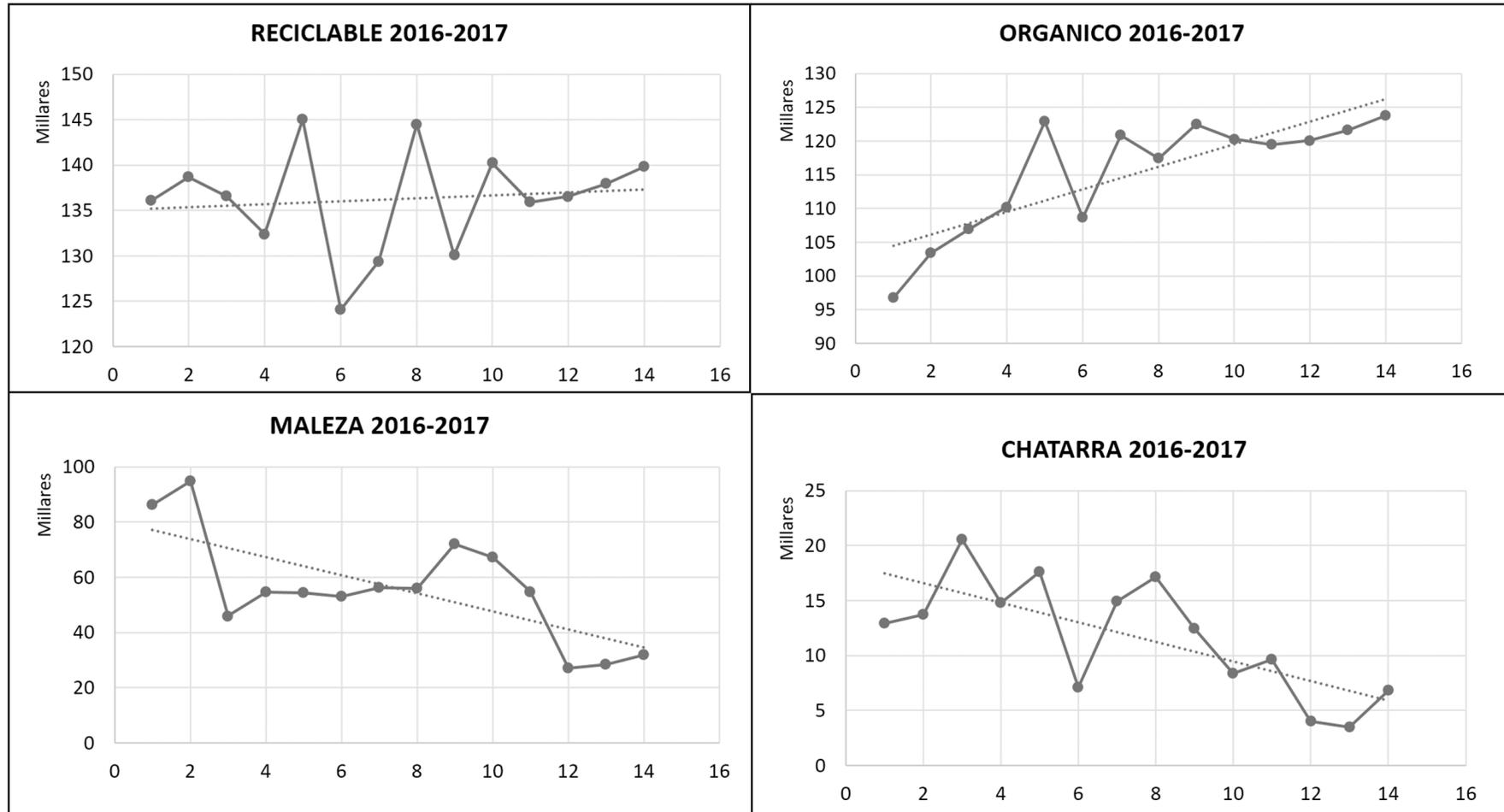


Figura 15. Pesos en kilogramos de camiones desde abril de 2016 a mayo 2017

Anexo 8: Tiempos de procesamiento y operadores necesarios por actividad.

**Tabla 8.** *Estimado de tiempo de procesamiento y número de operadores por actividad: escenario actual.*

Actividad	# de operarios	Minutos procesados por m <sup>3</sup>	Demanda diaria (m <sup>3</sup> )	Demanda diaria (horas)	Tiempo por operario (minutos)
Banda	9	5.13	44.31	4	240
Pesar y almacenar	2	2.6	39	2	120
Despacho	7	1.72	108	3	180
Orgánicos	2	8.57	4.71	4	240
Triturar maleza	1	6.21	179.3	5	300
Triturar vidrio	2	8	12.7	2	120
Descanso	15	-	-	1.3	80
Seleccionar chatarra	2	60	2.57	3.5	210
Limpieza	14	-	-	0.5	30
Cernir y ensacar	1	69.73	1.53	2.5	150
Control e inspección	1	-	-	5.5	330

Anexo 9: Diagrama de causa y efecto en banda de selección.

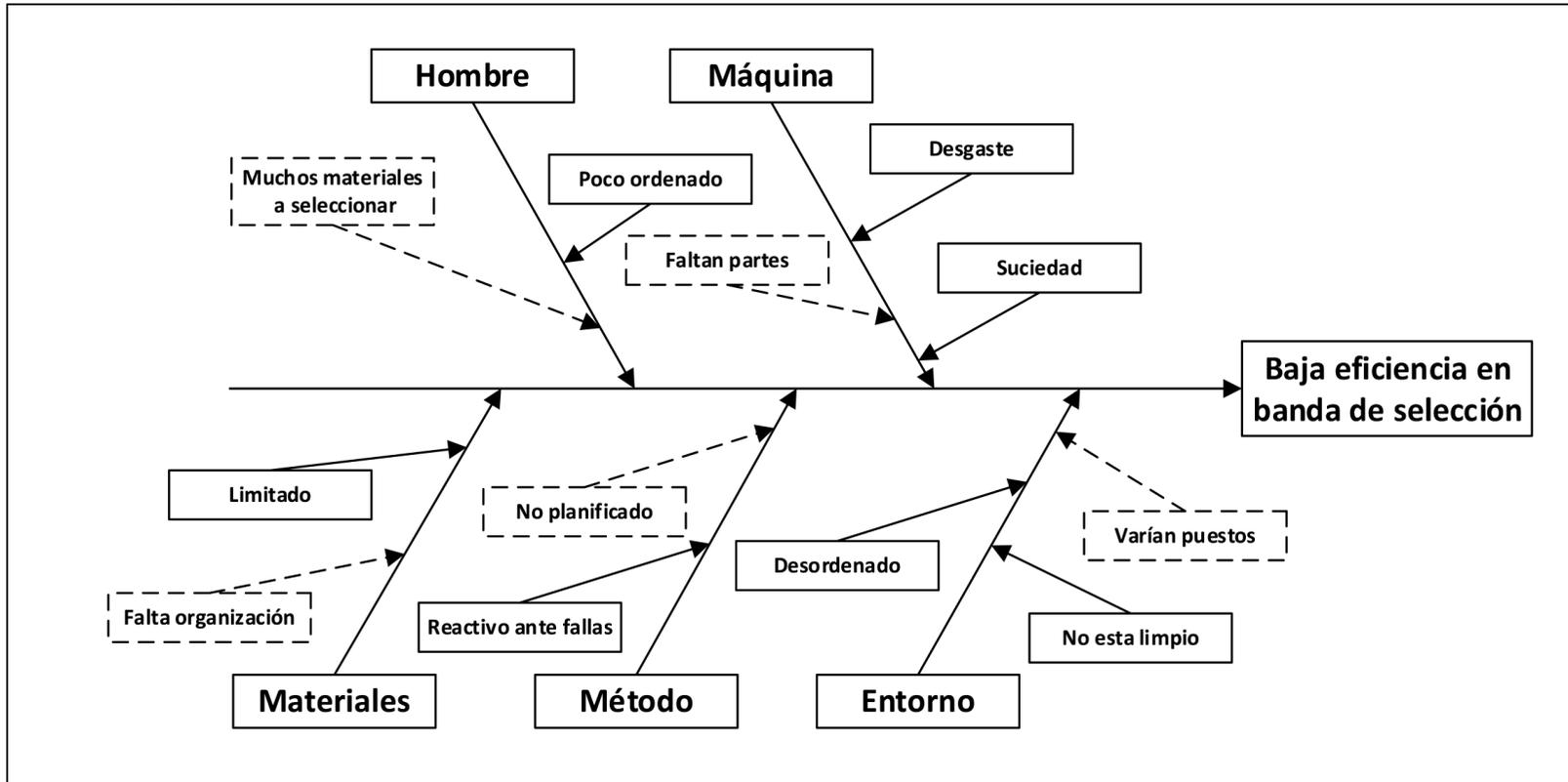


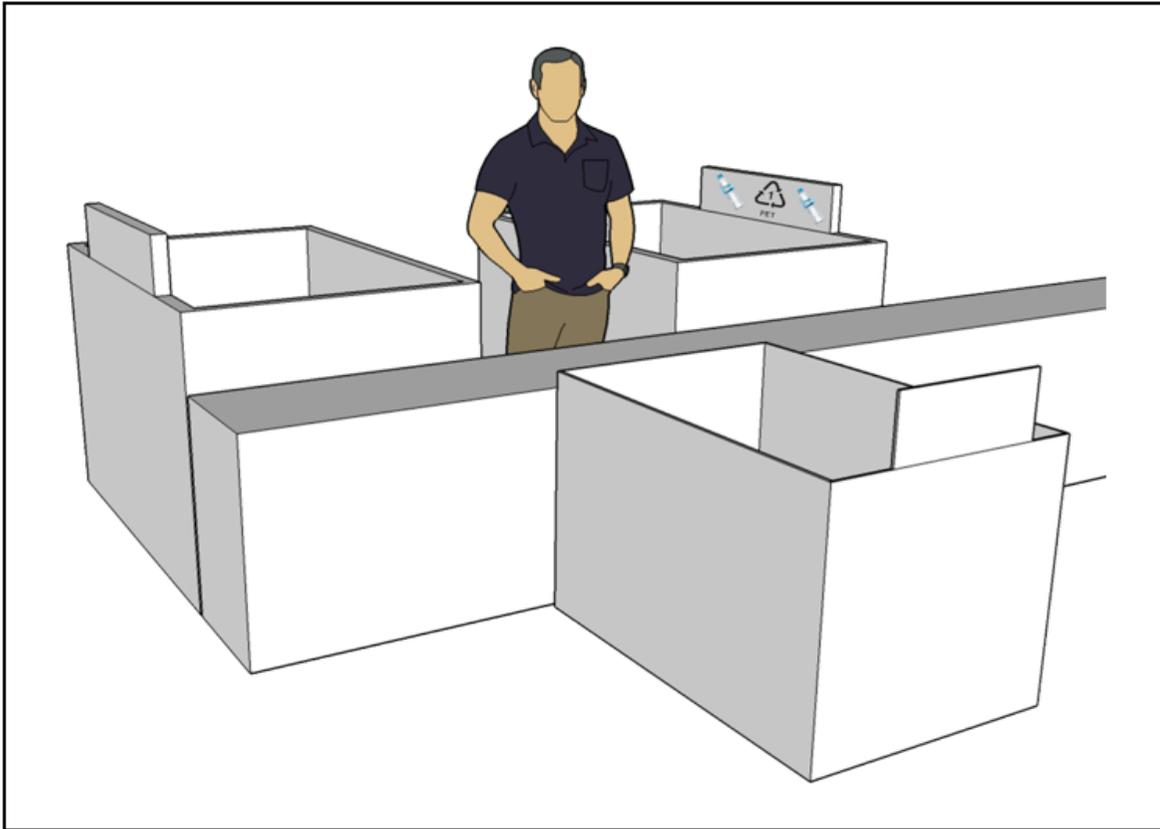
Figura 16. Diagrama de causa y efecto de proceso de banda de selección.

Anexo 10: Propuesta de materiales a seleccionar en cada puesto en banda.

**Tabla 9.** *Propuesta: materiales y porcentaje a seleccionar por operario.*

Actividad	Material 1	% del total	Material 2	% del total	Material 3	% del total	% total final
Selección ador 1	Fundas	5.55%	CD's	0.30%	Cubetas de huevo	2.01%	7.86%
Selección ador 2	Papel periódico	1.18%	Papel revuelto	1.04%	Cartón	8.06%	10.28%
Selección ador 3	Papel oficina	4.67%	Latas conserva	2.38%	Plástico 1	2.88%	9.92%
Selección ador 4	Dúplex	3.85%	Plástico 5	3.03%	Papel mixto	3.19%	10.07%
Selección ador 5	Plástico duro	4.90%	Tetrapak	2.07%	Plástico 2	2.83%	9.80%
Selección ador 6	Plástico 1	2.88%	Chatarra y electrónicos	0.35%	n/a	n/a	25.74%
Selección ador 7	Vidrio	47.80%	Aluminio	0.46%	n/a	n/a	25.74%

Anexo 11: Mecanismo Poka-Yoke de control visual.



**Figura 17.** Propuesto de Poka-Yoke de control visual y disminuir errores. Elaborado en Google Sketchup Make 2017.

Anexo 12: Propuesta de mejora en tolva entre bandas.



**Figura 18.** Propuesto de estructura de final de banda.

Anexo 13: Diagrama de causa y efecto en compactadoras.

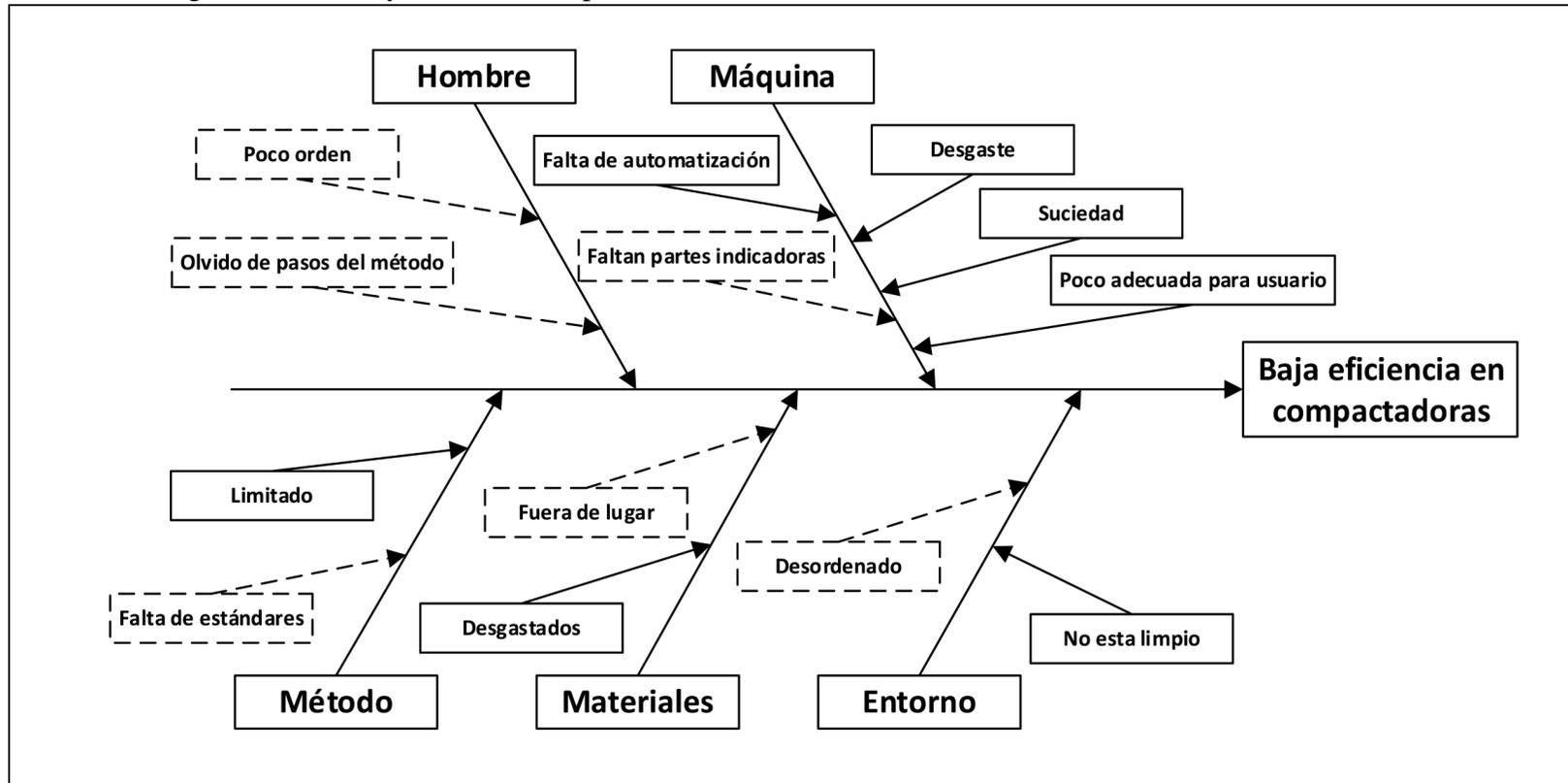


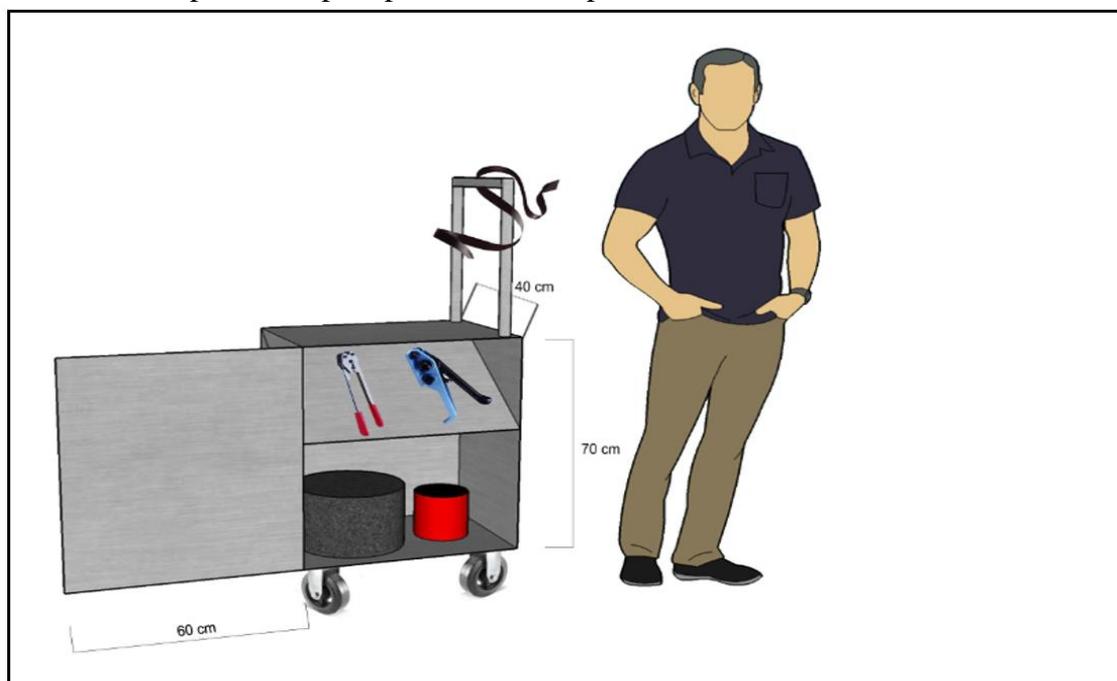
Figura 19. Diagrama de causa y efecto de proceso de compactación

Anexo 14: Análisis de tiempos en compactadoras.

**Tabla 10.** Propuesta de mejora para compactadora con la cantidad de pacas al día (operario ayudante).

Tiempo	Tiempo total necesario por día (minutos)		
	Compactadora	Compactadora	Compactadora
	1	2	3
Tiempo total de prensado (horas)	7.36	4.88	2.24
Tiempo de preparación (horas)	0.75	1.33	0.79
Tiempo total de prensado sin preparación (horas)	6.60	3.55	1.45
Porcentaje de reducción (%)	10%	28%	36%
Tiempo de ayudante (horas)		2.95	

Anexo 15: Propuesta 5S para proceso de compactación.



**Figura 20.** Propuesta de caja para herramientas y sunchos de compactadoras. Elaborado con Google Sketchup Make 2017.

Anexo 16: Análisis de utilización de contenedor para embarque a continente.

**Tabla 11.** *Propuesta de mejora de embarque.*

Espacio de contenedor actual				
Compactadora	Número de pacas que entran por contenedor	Espacio que sobra de contenedor (m <sup>3</sup> )	Porcentaje no utilizado	Contenedores necesarios por semana
1	30	9.19	29.5%	5.30
2	20	4.16	13.3%	2.15
3	42	10.17	32.6%	0.86
Promedio de utilidad de espacio			<b>74.9%</b>	
Total de contenedores necesarios				<b>8.31</b>
Espacio de contenedor propuesto en base a altura de pacas				
1	48	3.77	12.1%	3.31
2	20	3.08	9.9%	2.15
3	56	4.51	14.5%	0.64
Promedio de utilidad de espacio			<b>87.9%</b>	
Total de contenedores necesarios				<b>6.11</b>

Anexo 17: Media calculada para implementar Poka-Yoke en compactadoras.

**Tabla 12.** *Altura propuesta de paca y altura de la línea Poka-yoke en compactadora.*

Comptact.	Largo (metros)	Ancho (metros)	Altura propuesta	Altura de línea
1	1.2	0.65	0.65	0.59
2	1.2	0.75	0.86	0.65
3	1	0.7	0.65	0.59

Anexo 18: Diagrama de Gantt con actividades actuales.

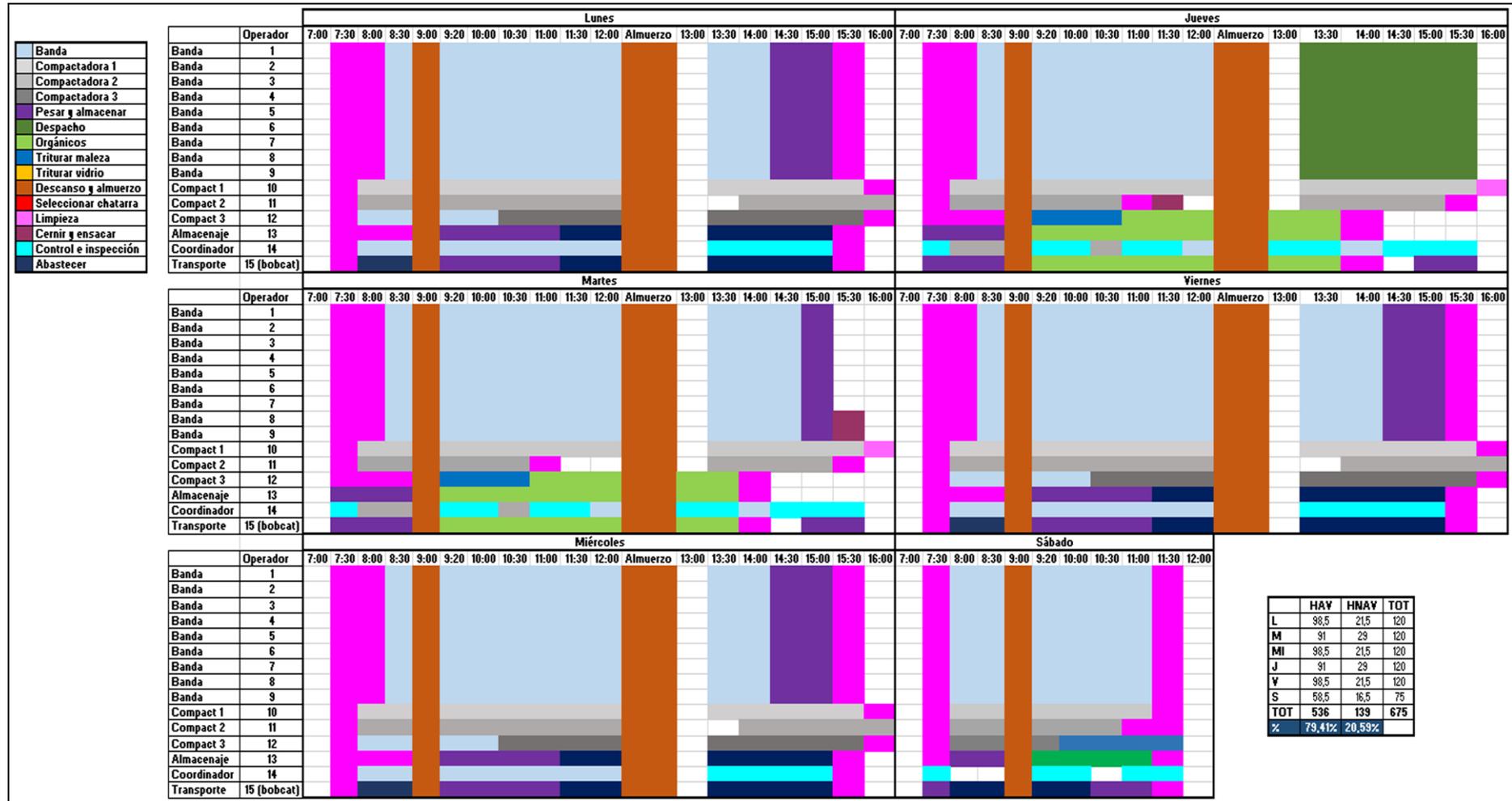


Figura 21. Diagrama de Gantt: Análisis de capacidad actual de recursos humanos.

Anexo 19: Diagrama de Gantt con actividades propuestas.

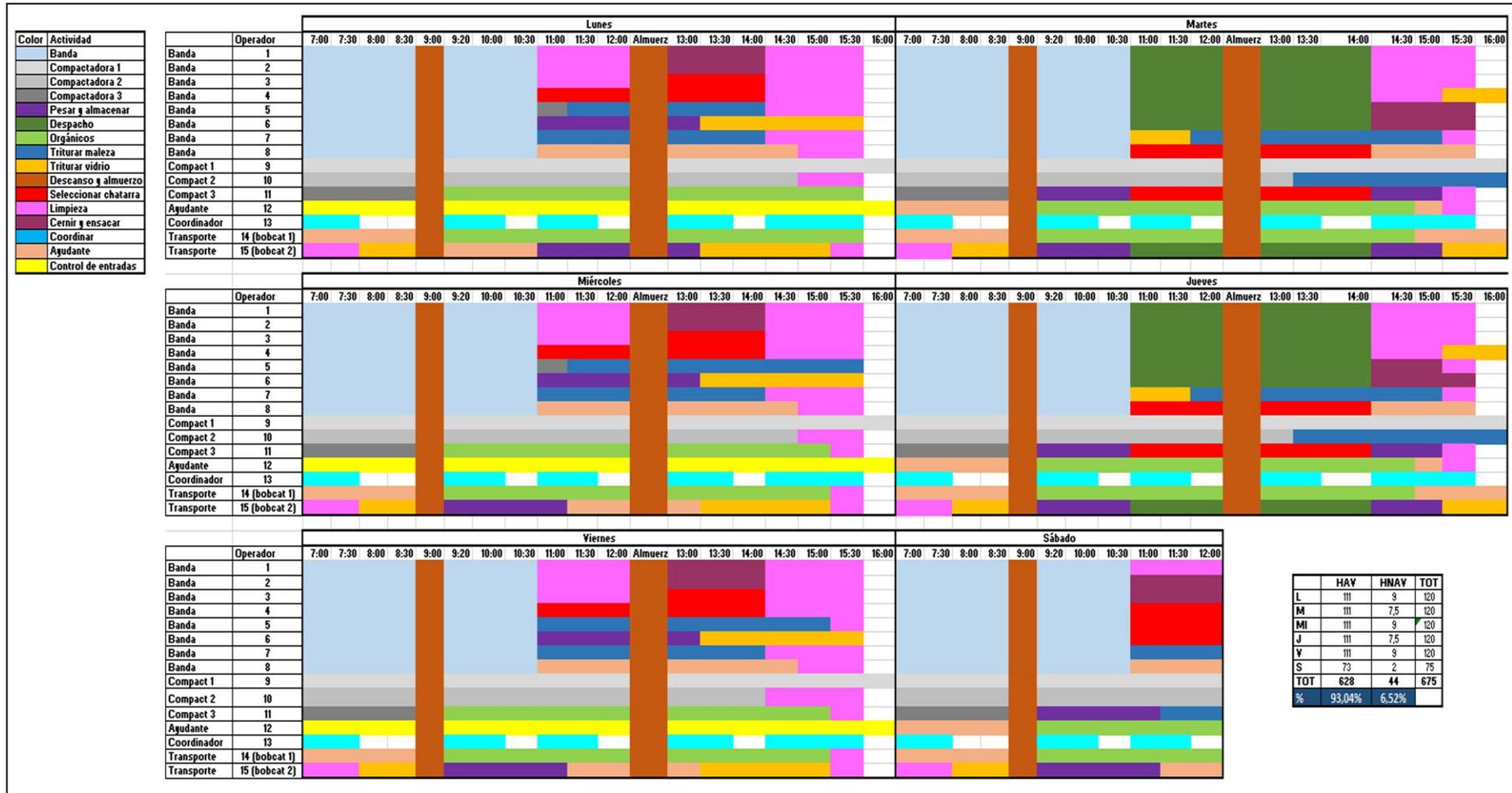
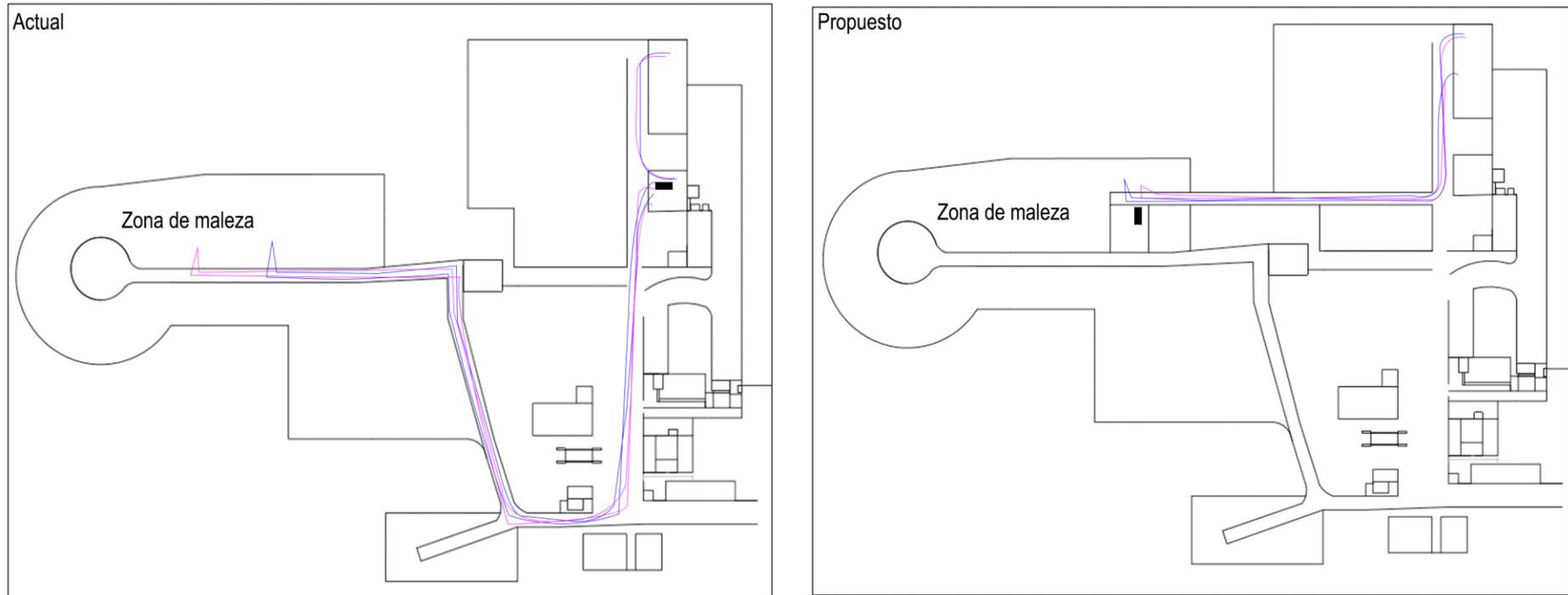


Figura 22. Diagrama de Gantt: Análisis de capacidad propuesta de recursos humanos.

## Anexo 20: Diagrama de espagueti de zona de maleza.

**Figura 23.** Diagrama de espagueti del Área de maleza.

## Anexo 21: Parámetros de control principales medidos en compost.

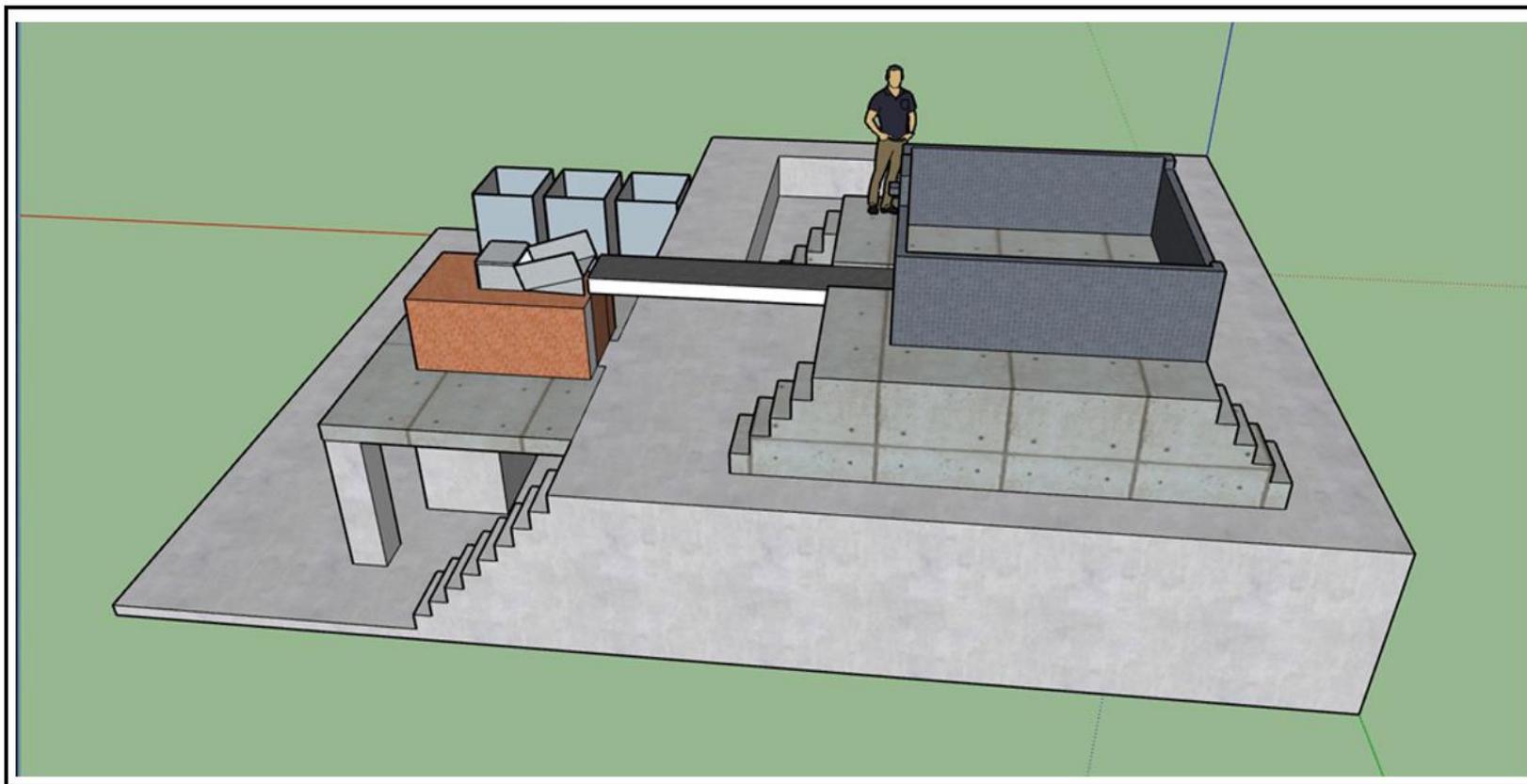
**Tabla 13.** *Parámetros tomados de pilas de compostaje.*

# de pila	Medida	Temp.	Temp.	Ph	Ph	Hum.	Hum.
		Prom.	Dev.	Prom.	Dev.	Prom.	Dev.
			Stan.		Stan.	(%)	Stan.
1	D	71.30	2.10	6.23	0.25	52.67%	4.52
	E	77.04	3.61	6.03	0.57	100%	0
	F	62.22	5.36	6.83	0.15	31%	1.73
2	D	69.81	1.70	5.07	0.31	93.33%	1.15
	E	67.22	3.33	5.93	0.70	100%	0
	F	55	13.48	6.23	0.12	66.67%	5.77
3	D	33.89	5.47	6.93	0.12	4.33%	0.42
	E	45.93	7.56	5.67	1.36	90.67%	1.62
	F	38.15	4.63	6.70	0.10	4.67%	0.45
4	D	40.56	2	6.57	0.06	70.67%	5.08
	E	49.63	5.01	6.47	0.12	100%	0
	F	41.85	1.28	6.57	0.35	100%	0
5	D	53.70	0.64	6.37	0.21	100%	0
	E	60.37	2.10	5.90	0.66	91.67%	1.44
	F	51.67	1.47	6.27	0.21	100%	0
6	D	42.04	4.17	6.63	0.40	8.33%	0.35
	E	64.26	2.74	6.17	0.21	100%	0
	F	46.67	6.26	6.83	0.15	8.33%	0.35
7	D	57.22	7.88	5.50	0.36	100%	0
	E	45.93	1.70	6.20	0.40	99%	0.17

	F	52.41	9.82	6.80	0.17	66.67%	3.06
8 (1)	D	44.07	2.57	6.63	0.21	57.67%	4.35
	E	48.33	3.47	6.90	0.10	17%	1.60
	F	33.33	2.22	6.87	0.23	55%	4.27
8 (2)	M	62.59	8.83	5.47	0.64	100%	0
	N	67.41	3.61	5.93	0.76	100%	0
	O	65.56	3.47	5.87	1.12	100%	0
9	D	61.11	10.18	6.47	0.46	36.67%	3.79
	E	65	4.81	6.63	0.15	92.33%	1.33
	F	48.15	7.90	5.43	0.85	73.33%	3.06
10	D	50.93	3.70	5.20	0.52	100%	0
	E	56.85	6.90	4.90	0.10	100%	0
	F	54.81	0.32	4.97	0.06	100%	0

---

Anexo 22: Diseño de planta de trituración de vidrio.



**Figura 24.** Diseño de la planta de trituración de vidrio. Elaborado con Google Sketchup Make 2017

Anexo 23: Diagrama de flujo diseñado para el proceso de trituración de vidrio.

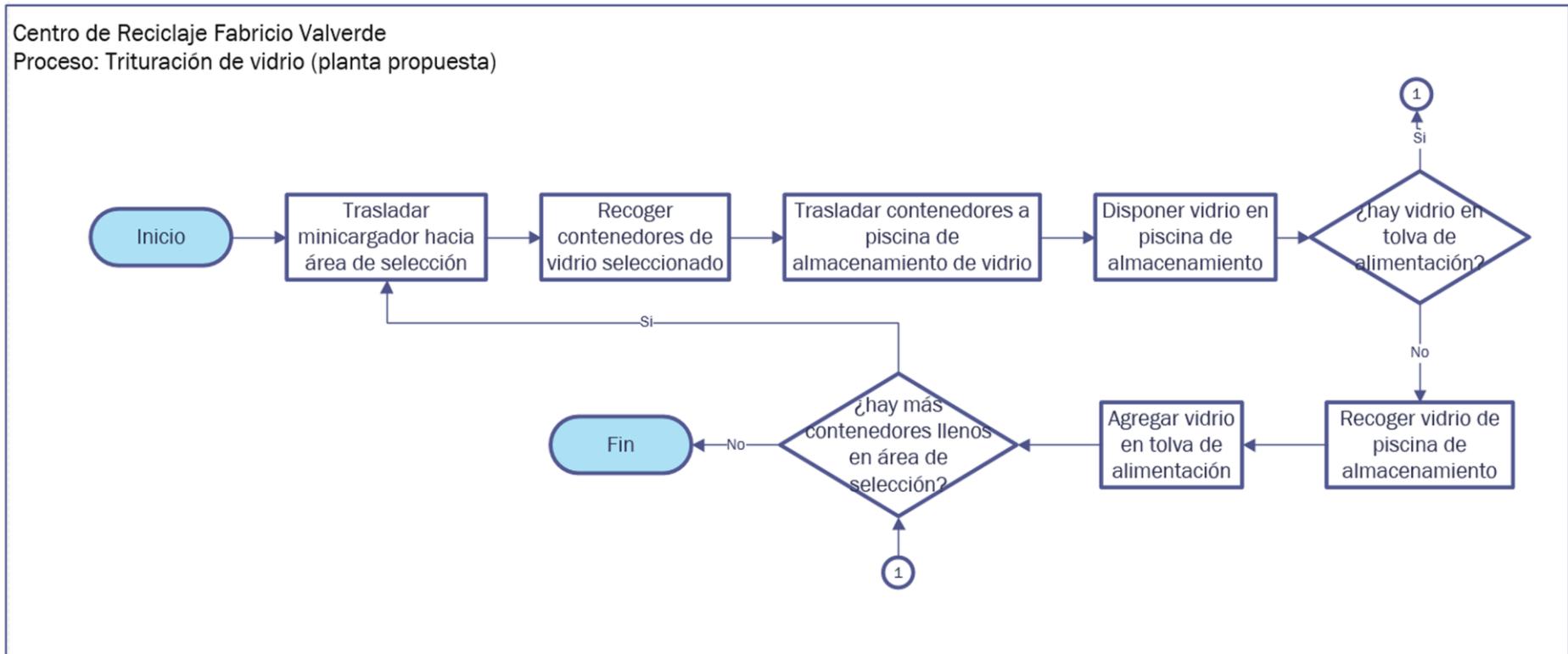


Figura 25. Diagrama de flujo propuesto para el proceso de trituración de vidrio.