

Gestión de residuos en la producción de té negro: hacia una operación eficiente y sostenible

Kwaszka, Raúl Nicolás ^a; Salvo, Fabrizio Alejandro ^a; Niezwida Sonia Romina ^a; Michalus, Juan Carlos ^b; Kolodziej Sebastián Federico ^b

^a *Integrantes del Proyecto de investigación acreditado 16/I1486-PI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

^a *Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: kwaszknicolas@gmail.com, fabrisalvo1@gmail.com, sonia.niezwida@fio.unam.edu.ar,
michalus@fio.unam.edu.ar, kolodziej@fio.unam.edu.ar

Resumen

El presente artículo forma parte de prácticas profesionales supervisadas en base a un proyecto enfocado en evidenciar residuos en una empresa tealera. Se ha llevado a cabo en los meses de octubre a diciembre de 2024 en una planta elaboradora de té negro, ubicada en la localidad de Campo Grande, Misiones, Argentina. El propósito del trabajo ha sido identificar las materias primas e insumos utilizados en cada etapa del proceso de producción, determinar las cantidades de residuos generados y realizar un análisis crítico de los datos obtenidos para proponer mejoras en el proceso productivo.

Se llevó a cabo un balance de masa de cada etapa de proceso, donde se analizaron las entradas y salidas de cada operación, identificando así, como puntos de mayor generación de residuos a las etapas de Marchitado y Tipificado, con pérdidas de 192.150 kg y 104.460 kg de té, respectivamente durante la zafra tealera.

Se utilizaron herramientas como mapeo general del proceso, ecomapa y el diagrama de Ishikawa para visualizar flujos de producción, puntos críticos y proporciones de desechos. Además, se formularon propuestas como sistemas de recolección neumática, bandejas recolectoras, ecodiseño de empaques y un sistema de clasificación de residuos.

Palabras Clave – Balance de masa, Diagrama de Ishikawa, Ecomapa, Gestión de residuos, Producción sostenible, Reciclaje, Reducción de desechos, Sostenibilidad.

1. Introducción

La gestión de residuos generados en el proceso productivo del té es fundamental para mejorar la eficiencia operativa y minimizar el impacto ambiental negativo producido. En la empresa analizada, la correcta gestión de estos residuos constituye una oportunidad clave para reducir costos, optimizar recursos y avanzar hacia una producción más sostenible en búsqueda de objetivos propios de la organización.

El enfoque del estudio se basa en la identificación de los residuos generados en el proceso de producción de té negro, el análisis de sus causas y la propuesta de estrategias de mitigación, alineándose con normativas y estándares internacionales, como la certificación Rainforest Alliance y el Acuerdo de París, que promueven la producción sostenible y la reducción de impactos ambientales. Además, se ajusta a la legislación nacional argentina, como la Ley General del Ambiente N° 25.675.

1.1 Producción de té negro

La elaboración del té negro se realiza en temporada de verano donde los brotes crecen y se fortalecen. Esta temporada de cosecha y elaboración se conoce como “zafra”. El proceso de elaboración del té negro implica una serie de operaciones secuenciales que transforman las hojas verdes (Materia Prima: MP) en producto final, estas se presentan de forma resumida en la Fig. 1.



Fig. 1. Etapas del proceso de elaboración del té negro.

Fuente: Elaboración propia a partir de [1].

En la Recepción de MP las hojas de té verde (*Camellia Sinesis*) son pesadas y luego descargadas antes de ser transportadas a las etapas siguientes. En esta instancia, se generan pequeñas pérdidas de hojas debido a caídas accidentales durante el manejo y traslado. Estos residuos, representan pérdidas de materia prima que podrían ser recuperadas con un control más eficiente del transporte interno.

En la etapa de Conservado, las hojas son almacenadas temporalmente para su estabilización. Aquí, los residuos suelen ser mínimos y están asociados a la acumulación de hojas caídas por manipulación o errores en la distribución.

El Marchitado es una de las etapas críticas en la generación de residuos del proceso, donde se identifican caídas de hojas debido al desborde que ocurre en las marchitadoras y a veces, al manejo inadecuado de la MP. Estos residuos caen al suelo y no son reincorporados al proceso, lo que representa pérdidas materiales y económicas significativas. Además, la acumulación de hojas en áreas de difícil acceso dificulta la limpieza y el mantenimiento de los equipos.

En el Enrulado, las hojas son torsionadas y cortadas para romper sus células y favorecer la oxidación. En esta etapa, se generan residuos en forma de fragmentos pequeños de hojas, los cuales desbordan de las rotorvane y se acumulan en el área de trabajo.

Durante el Fermentado, las hojas procesadas adquieren las características de aroma y color típicas del té negro. Aquí, los residuos son mínimos y están relacionados principalmente con hojas adheridas a las bandejas o pérdidas menores durante el traslado del material entre equipos.

La etapa de Secado presenta una generación de residuos debido al flujo de aire caliente utilizado para reducir la humedad del producto. En esta fase, se identifican polvo fino y partículas de hojas ligeras que se dispersan en el entorno de los secadores y se acumulan en los equipos, lo que requiere tareas de limpieza constantes para evitar obstrucciones y mantener la eficiencia del proceso.

En el Tipificado, se clasifica el té según el tamaño de las partículas, separando el palo y las hojas según su granulometría. Durante esta operación, se emplean quebradores, zarandas, caracoles, norias, máquinas electrostáticas que separan la fibra del té, ciclones, molinos y sistemas de transporte neumático. En esta etapa, se generan residuos sólidos en forma de polvo, fragmentos no clasificados y partículas descartadas. La acumulación de estos residuos en las zarandas y bandejas recolectoras representa pérdidas materiales y operativas que afectan la eficiencia del proceso.

Finalmente, en el Envasado, el té negro seco es empaquetado en diversos formatos para su distribución. Durante esta operación, se generan residuos sólidos no relacionados directamente con el té, tales como restos de embalajes, materiales plásticos, cartón y otros desechos de los envases utilizados [1].

2. Metodología

Para llevar a cabo la presente investigación y con ello las prácticas profesionales supervisadas, se desarrollaron una serie de actividades orientadas a analizar las etapas críticas del proceso de elaboración del té negro. Estas actividades incluyeron la recopilación de datos, identificación de tipo de MP, insumos y residuos en las diferentes etapas del proceso. También ha sido fundamental el estudio del balance de masa en las operaciones, el cual proporcionó datos cuantitativos sobre las pérdidas y residuos en cada etapa del proceso, permitiendo calcular y entender el impacto de cada operación. Adicionalmente, se realizó el análisis de la gestión de residuos que posee la empresa.

Además, se han utilizado otras herramientas propias de la ingeniería, como el mapeo general, ecomapa y diagrama de Ishikawa para evaluar la gestión de residuos en la empresa. El mapeo general permitió visualizar el flujo de producción y los puntos críticos donde se generan residuos, facilitando la identificación de áreas clave para la mejora. El ecomapa, por su parte, representó visualmente los residuos generados, lo que ayudó a detectar oportunidades para optimizar su manejo. Por último, el diagrama de Ishikawa permitió identificar las causas raíz de los residuos en las etapas de marchitado y tipificado, agrupando factores como la mano de obra, sistemas de transporte, y la calidad de la materia prima. Estas herramientas combinadas ofrecieron un enfoque integral para analizar y mejorar la gestión de residuos en la planta.

Lo antes mencionado se detalla en las siguientes secciones explicativas:

2.1 Recopilación de datos

En esta etapa, los integrantes del proyecto de investigación por parte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones se reunieron con el Gerente de Operaciones y los encargados de las áreas de Producción y Sustentabilidad de la empresa. Estas reuniones tuvieron como objetivo principal recopilar información técnica y operativa que permita identificar las etapas críticas del proceso productivo y las problemáticas relacionadas con la generación y gestión de residuos sólidos.

Durante las reuniones con el Gerente de Operaciones, se abordaron temas relacionados con los volúmenes de producción, los rendimientos en cada etapa del proceso y las estrategias implementadas actualmente para optimizar los recursos. Por su parte, el responsable del área de producción brindó detalles sobre el funcionamiento de los equipos, las prácticas operativas aplicadas y las pérdidas observadas a lo largo del proceso. A su vez, la encargada de sustentabilidad aportó información sobre las políticas de gestión ambiental implementadas y pendientes por la empresa.

En esta actividad se incluye las visitas técnicas realizadas a la planta de procesamiento ubicada en Campo Grande, Misiones, Argentina, ya que las mismas tuvieron como finalidad observar y documentar en tiempo real las operaciones productivas realizadas en la empresa.

2.2 Identificación de materias primas, insumos y residuos en las diferentes etapas del proceso

Una vez analizadas las operaciones que se realiza en la empresa, se elaboró un mapeo general en AutoCAD v.2021 de todos los equipos del proceso de producción, desde la descarga de la hoja verde hasta el envasado del producto final. En el mapeo se representó mediante diferentes capas a la línea de flujo de producción, los puntos de generación de residuos y los insumos utilizados. A partir de dicho mapeo, se llevó a cabo el balance de masa de las distintas operaciones realizadas en el proceso de producción, tal como se detallará en la sección 2.3 .

2.3 Balance de masa en las operaciones

El balance de masa se desarrolló solamente en las operaciones que realizan una transformación en la MP, estas son: marchitado, enrutado, fermentado, secado y tipificado.

La MP que ingresa a elaboración siempre está sujeta a variables como el clima, el tamaño de la hoja, el tipo de hoja (clonal o común), si el brote es tierno o maduro y la ronda o época de cosecha realizada. En este análisis se tuvo como hipótesis de cálculo las siguientes premisas las cuales son las condiciones en las que trabajaba la empresa (mediados del mes diciembre de 2024):

- La hoja de té es del tipo común no clonal.
- Se trabaja con té de inicio de segunda ronda y en verano.
- El brote de la hoja es tierno (suaves, flexibles y de una textura fina.).
- La hoja tiene dimensiones de 3 cm de largo y 6 cm de ancho.

- El flujo másico de hoja verde que ingresa en total a todas las líneas de marchitado es aproximadamente 9.150 kg/h.

Además, para facilitar los cálculos, se ha tomado en cuenta los datos históricos proporcionados por la empresa (Tabla 1), provenientes de la primera ronda.

Tabla 1. Porcentaje de residuos promedio en las operaciones del proceso de elaboración de té negro en la empresa.

Operación	Porcentaje de residuos
Recepción	0,10 %
Marchitado	0,70 %
Fermentado	0,00 %
Secado	0,60 %
Tipificado	1,70 %
Envasado	0,00 %

Fuente: Elaboración propia a partir de datos históricos proporcionados por la empresa.

Resulta interesante aclarar que, en el caso del marchitado, el porcentaje de residuos se calcula con base en la masa que ingresa, considerando que esta posee la misma humedad que la hoja al momento de entrar. En el secado, el porcentaje de residuos de té corresponde a la masa del té seco que se obtiene, mientras que, en el tipificado, el porcentaje se refiere a la masa seca que ingresa al proceso. Por lo tanto, en el enulado, fermentado y envasado los residuos de té propiamente dicho tienden a ser no significativos (menor a 0,1 %).

Para la realización del balance de masa la ecuación que se utilizó es la siguiente:

$$\dot{m}_e - \dot{m}_p - \dot{m}_a = \dot{m}_s \text{ [kg/h]}$$

Ecuación 1: Balance de masa.

Fuente: [4].

Siendo:

- $\dot{m}_e$ = flujo másico que entra en el proceso.
- $\dot{m}_p$ = flujo másico que se pierde en el proceso.
- $\dot{m}_a$ = flujo másico que se acumula en el proceso.
- $\dot{m}_s$ = flujo másico que sale del proceso.

2.4 Análisis de la gestión de residuos que posee la empresa

Para realizar la evaluación se consideró información detallada sobre la situación actual de la empresa en relación con los sistemas de recolección y gestión de residuos. Para este análisis, se

recopiló información mediante conversaciones con la persona encargada de la sustentabilidad dentro de la organización.

Una vez proporcionada toda la información pertinente, se procedió a mapear las áreas de la planta en las que se generaban diferentes tipos de residuos. Posteriormente, se elaboró un ecomapa que permitió representar de manera visual los residuos generados en la planta, facilitando así la identificación de oportunidades para optimizar los procesos de gestión y minimizar el impacto ambiental.

3. Resultados

Tras aplicar la metodología descrita en las secciones anteriores, se obtuvieron los resultados, los cuales se presentan a continuación de manera estructurada.

3.1 Residuos en el proceso de producción de té negro

Durante la producción de té negro, se generan diversos residuos a lo largo del proceso. Entre ellos, se identificó el Producto que cae al piso (CP), la Caída de producto dentro del cuerpo (CDC) y las Bandejas con residuos (Band), que acumulan hojas y partículas. También se identifican Partículas extraídas (Part.), Producto que desborda (PP) y Agua desperdiciada (H₂O) en distintas etapas. Finalmente, en el envasado, se generan residuos como Bolsas de cartón (BC), Plásticos stretch (Stretch) y Rollos de cartón (RC).

A continuación, se describe la causa de cada uno de estos residuos:

El Producto que cae al piso (CP), que corresponde al producto que caía al suelo durante el manejo y transporte, y que se generaba principalmente en la recepción de materia prima, el marchitado y el tipificado. Por ejemplo, en la recepción, las hojas caían durante la descarga de los camiones, mientras que en el marchitado y el tipificado, los desbordes de las máquinas y la manipulación inadecuada contribuían a estas pérdidas.

La Caída de producto dentro del cuerpo (CDC), el cual se refiere a hojas o pedazos de hoja acumuladas dentro de los mecanismos de las máquinas y que no lograban continuar con el flujo productivo. Este tipo de residuo era común en casi todas las etapas de producción; las hojas quedaron atrapadas en los bordes internos de la maquinaria o en las cintas transportadoras. Además, se detectó acumulación en las zarandas y separadores electroestáticos.

La Bandejas con residuos de cinta transportadora (Band), que incluían residuos acumulados en bandejas recolectoras instaladas en las cintas transportadoras y otros equipos. En el tipificado, estas bandejas contenían fibras y partículas que debían ser limpiadas constantemente para evitar desbordes, mientras que en el transporte de las conservadoras a las marchitadoras se recolectaban hojas que, si se manejaban adecuadamente, podían reincorporarse al proceso.

El producto particulado, clasificado como Partículas extraídas en el proceso (Part.), incluía partículas livianas y polvo generados en etapas como el secado, el tipificado y el envasado. Durante el secado, estas partículas eran arrastradas por el aire caliente y se acumulaban en filtros de manga,

Sin embargo, debido a algunas ineficiencias en el proceso, una pequeña parte se dispersaba en el entorno. En el tipificado, también se detectaba acumulación en las electroestáticas y las zarandas.

El Producto que desborda de la máquina (PP), que se producía principalmente en el enrollado, cuando las hojas no se manejaban correctamente y se acumulaban fuera de los equipos debido a variaciones en el procesamiento.

El residuo del Agua desperdiciada en el proceso (H₂O), específicamente durante el fermentado, donde se dispersaba agua para ayudar en el proceso. Una parte del agua no ingresaba adecuadamente en el equipo y caía al suelo, resultando en desperdicio.

Las Bolsas de cartón (BC), que correspondían a bolsas multilaminadas defectuosas descartadas por roturas o incumplimiento de estándares de calidad. También se identificaban residuos de embalaje, como los Plásticos stretch (Stretch) y los Rollos de cartón (RC), que se desechaban tras ser utilizados para envolver pallets o empaques de transporte.

Todos estos residuos mencionados anteriormente tienen un impacto negativo significativo en la eficiencia operativa, ya que afectan tanto la cantidad de producto final como los recursos utilizados en cada etapa. La caída de producto al piso (CP) y la caída de producto dentro del cuerpo (CDC) resultan en pérdidas de materia prima durante el manejo y el transporte, lo que implica un uso ineficiente de las materias primas y un incremento en los costos. La acumulación de residuos en las bandejas recolectoras (Band) y las partículas extraídas en el proceso (Part.) generan obstrucciones y requieren limpieza constante, lo que interrumpe el flujo productivo y aumenta el tiempo de inactividad de las máquinas. Además, el desbordamiento de productos de las máquinas (PP) y el desperdicio de agua (H₂O) en el proceso de fermentado resultan en pérdidas adicionales de recursos y productos, lo que reduce la eficiencia general del proceso. Los residuos no compostables, como las bolsas de cartón defectuosas y los plásticos de embalaje (Stretch y RC), incrementan el volumen de residuos sólidos que deben gestionarse adecuadamente, afectando la sostenibilidad del proceso y generando costos adicionales asociados a su disposición. En conjunto, estos residuos no solo disminuyen el rendimiento de la producción, sino que también complican la implementación de prácticas sostenibles en el proceso.

3.2 Balance de masa: Cuantificación de los residuos de té negro generados en el proceso

Una vez realizado el balance de masa en las distintas operaciones, y considerando las premisas establecidas en la sección 2.3 , se elaboró la siguiente tabla comparativa que resume las diferentes etapas del proceso. En ella se destacan las entradas, salidas, pérdidas (residuos + masa evaporada) y el porcentaje que representan dichas pérdidas en cada etapa.

Tabla 2. Comparación de balance de masa en las diferentes operaciones.

BALANCE DE MASA							
Operación	Flujo a la entrada [kg té/h]	Flujo evaporado [kg agua/h]	Flujo de residuos [kg té/h]	Flujo perdido [kg té/h]	Flujo a la salida [kg té/h]	Porcentaje de pérdida	Porcentaje de residuos
Recepción	9.159,15	0,00	9,15	9,15	9.150,00	0,10 %	0,10 %
Marchitado	9.150,00	2.422,92	64,05	2.486,97	6.663,03	27,18 %	0,70 %
Enrolado	6.663,03	0,00	0,00	0,00	6.663,03	0,00 %	0,00 %
Fermentado	6.663,03	0,00	0,00	0,00	6.663,03	0,00 %	0,00 %
Secado	6.663,03	4.602,30	12,29	4.614,59	2.048,42	69,26 %	0,60 %
Tipificado	2.048,42	0,00	34,82	34,82	2.013,60	1,70 %	1,70 %
Envasado	2.013,60	0,00	0,00	0,00	2.013,60	0,00 %	0,00 %

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos, presentados en la Tabla 2, dificultan identificar los puntos específicos de generación de residuos debido a que están divididos en grandes áreas. Sin embargo, proporciona un panorama general de las cantidades correspondientes, diferenciándolos según cada etapa del proceso.

Para complementar este análisis, al trabajar en horas, también se utilizó como base la zafra completa, cuya duración aproximada, dependiendo de las condiciones climáticas, es de 7 meses y medio. Este período abarca desde el 15 de octubre hasta el 30 de mayo, totalizando aproximadamente 3.000 horas. Esto se refleja en la Tabla 3, en donde cabe destacar que no se incluyen los porcentajes de pérdidas y residuos, ya que estos no dependen de la cantidad de té procesada, sino que son inherentes a las operaciones realizadas.

Tabla 3. Comparación de balance de masa en las diferentes operaciones tomando como base la zafra.

BALANCE DE MASA TOMANDO COMO BASE LA ZAFRA					
Operación	Flujo a la entrada [kg té/zafra]	Flujo evaporado [kg agua/zafra]	Flujo de residuos [kg té/zafra]	Flujo perdido [kg té/zafra]	Flujo a la salida [kg té/zafra]
Recepción	27.477.450,00	0,00	27.450,00	27.450,00	27.450.000,00
Marchitado	27.450.000,00	969.168,00	192.150,00	1.161.318,00	26.288.682,00
Enrulado	19.989.090,00	0,00	0,00	0,00	19.989.090,00
Fermentado	19.989.090,00	0,00	0,00	0,00	19.989.090,00
Secado	19.989.090,00	1.840.920,00	36.870,00	1.877.790,00	18.111.300,00
Tipificado	6.145.260,00	0,00	104.460,00	104.460,00	6.040.800,00
Envasado	6.040.800,00	0,00	0,00	0,00	6.040.800,00

Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que el enfoque se centró en los residuos sólidos, ya que la pérdida de agua evaporada no puede ser controlada debido a la naturaleza inherente de los procesos térmicos que se realizan (marchitado y secado).

A partir del análisis se obtuvo que en el marchitado se produce la mayor cantidad de residuos sólidos, lo que lo convierte en la primera etapa clave de generación de residuos. En el enrulado y el fermentado no se generan cantidades significativas de residuos sólidos bajo la premisa de cálculo, mientras que el secado produce una cantidad moderada. El tipificado, aunque genera menos residuos en términos absolutos, tiene el mayor porcentaje relativo, siendo la segunda etapa clave en la generación de residuos.

3.3 Causas potenciales de generación de residuos de té negro en el proceso

A fin de realizar un análisis sobre la generación de residuos en las operaciones de marchitado y tipificado, se realizó un diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto). Este método gráfico relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan, de esta manera, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas [3].

Se ha utilizado el *diagrama de Ishikawa del tipo enumeración de causas*, en donde se construyó la gráfica indicando las causas potenciales y agrupándolas por similitud.

3.3.1 Diagrama de Ishikawa para operación de marchitado

Para los residuos en la operación de marchitado, las causas que pueden producir mayor cantidad de desechos se han agrupado en cuatro categorías principales, como se observa en la Fig. 2:

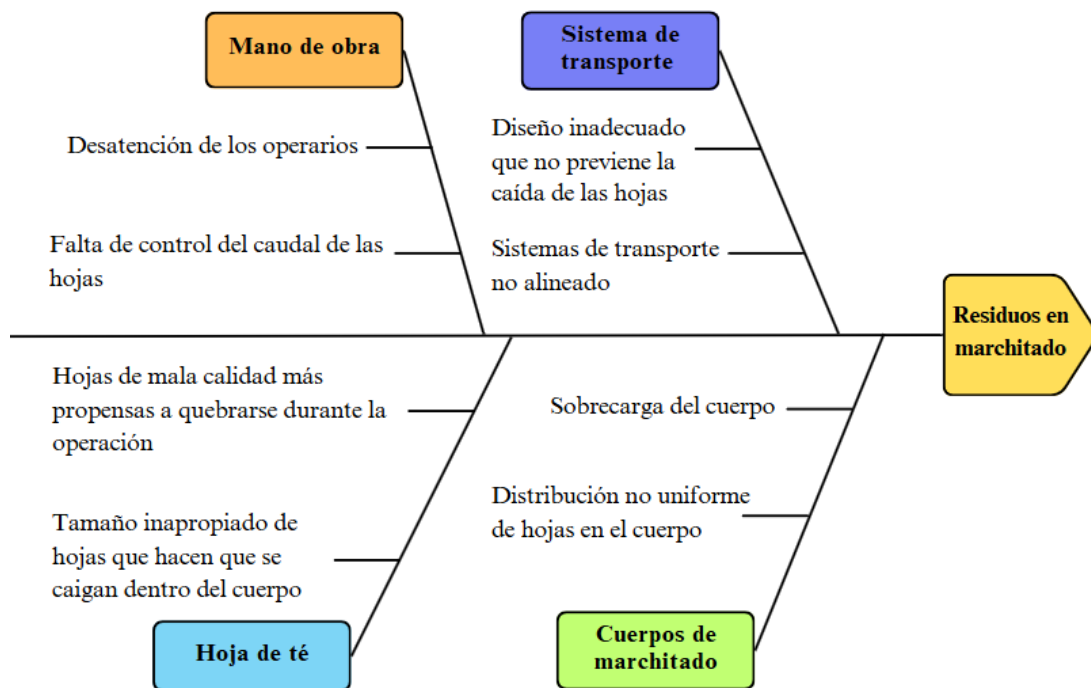


Fig. 2. Diagrama de Ishikawa en etapa de Marchitado.

Fuente: Elaborado a partir de [3].

En lo que respecta a la mano de obra, la desatención de los operarios y la falta de control del caudal de las hojas destacaron como factores críticos, ya que un manejo inadecuado puede derivar en la caída del producto de los cuerpos de marchitado.

Otra causa es el sistema de transporte, el cual carece de mecanismos que prevengan la caída de las hojas de los cuerpos. Además, si algunas de las cintas transportadoras están desalineadas, las pérdidas durante el traslado de las hojas aumentan considerablemente.

En el caso de las hojas de té, si son de mala calidad son más susceptibles a quebrarse o caer durante la operación. Asimismo, si las hojas son muy grandes, también tienen mayor probabilidad de caer de los cuerpos.

Finalmente, los residuos en la operación también dependen de los propios cuerpos de marchitado, ya que la sobrecarga de las hojas o una distribución no uniforme contribuyen significativamente a la generación de pérdidas ya que las hojas desbordan.

3.3.2 Diagrama de Ishikawa para operación de tipificado

En la operación de tipificado, las causas potenciales de generación de residuos se indican en el siguiente diagrama:

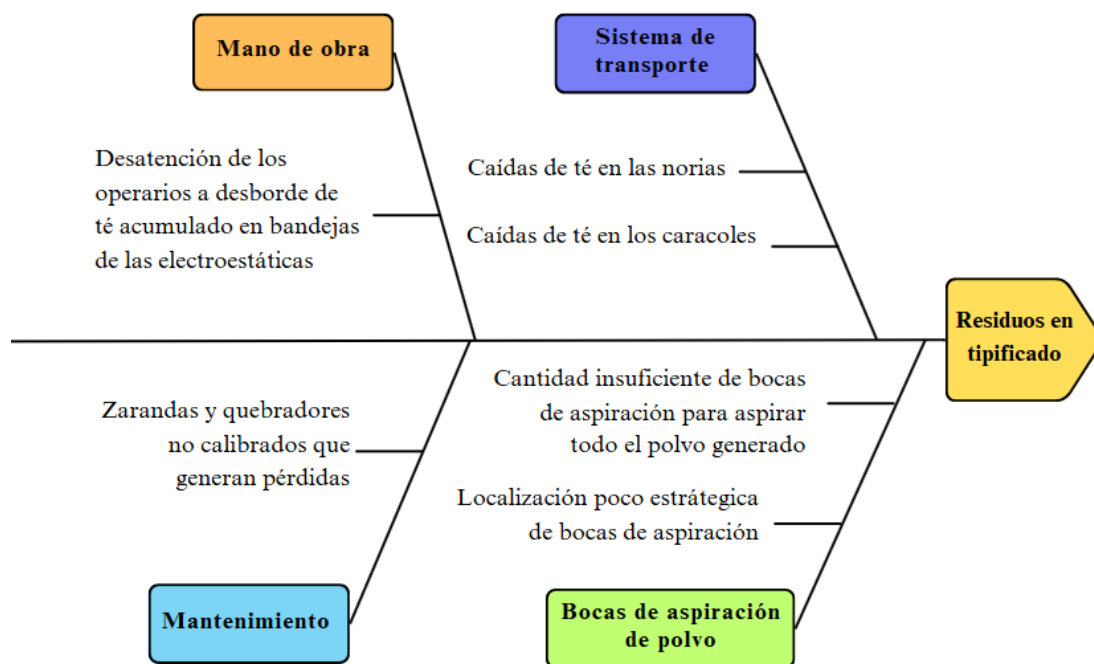


Fig. 3. Diagrama de Ishikawa- Tipificado.

Fuente: Elaborado a partir de [3].

En lo que respecta a la mano de obra, las bandejas ubicadas debajo de las electroestáticas requieren un monitoreo constante por parte de los operarios para evitar desbordes que generen residuos. Durante las visitas a la planta, se observó que, aunque los operarios son conscientes de la importancia de este control, en ocasiones descuidan estas tareas. Este descuido provoca el desborde del té seco en las bandejas y, como consecuencia, la inutilización del producto acumulado, ya que no puede reingresar a la línea de producción.

El sistema de transporte es otra fuente de generación de residuos. Las norias, al elevar el té, suelen provocar caídas en los puntos de carga y descarga, lo que genera acumulación de producto en zonas no controladas. De la misma manera, los caracoles, al mover el producto en espiral, presentan pérdidas cuando el material se desliza fuera de sus conductos.

El mantenimiento deficiente también es una posible causa de generación de residuos en el tipificado, ya que, cuando las zarandas y quebradores no están correctamente calibrados, una parte del té seco procesado queda atrapada dentro de estos equipos, generando obstrucciones y pérdidas. Este problema aumenta la cantidad de residuos y la necesidad de retirarlos manualmente o descartarlos.

En el caso de las bocas de aspiración, cuando hay pocas o están mal ubicadas, no se logra recoger eficientemente el polvo generado durante la operación, provocando esto que se genere residuos de polvo en el área.

3.4 Gestión de residuos del proceso de elaboración del té negro

En el proceso de elaboración del té negro, se llevó a cabo un análisis detallado de la gestión de residuos implementada, que incluyó la clasificación de los desechos en compostables y no compostables, permitiendo establecer estrategias diferenciadas para su manejo.

3.4.1 Residuos compostables

En primer lugar, se realizó una clasificación de los residuos compostables, que incluían brotes de té, palos, fibras y polvo generados principalmente durante las etapas de marchitado, tipificado y secado. Estos residuos son recolectados y procesados mediante compostaje, convirtiéndolos en abono que se destinó a chacras ubicadas en localidades cercanas, como Argente y Acaraguá. Este procedimiento colabora en una reintegración eficiente de los nutrientes al ciclo productivo, reduciendo el impacto ambiental y optimizando el uso de los desechos orgánicos.

El sistema de gestión siguió con los lineamientos de la certificación FSSC 22.000 [2], que exige prácticas claras para el manejo de los residuos. En el caso de los residuos que caían al suelo durante el proceso, la certificación indica que no pueden reincorporarse al ciclo productivo por riesgo de contaminación. Esta norma se cumplió, y dichos residuos se destinaron al compostaje, como parte de las acciones para aprovecharlos de manera adecuada y reducir su impacto.

3.4.2 Residuos no compostables

Los residuos no compostables generados en el proceso de elaboración del té negro incluyen bolsas multilaminadas, plásticos Stretch, rollos de cartón y otros materiales derivados del embalaje, los cuales presentan mayores desafíos para su disposición debido a su naturaleza y que constituyen insumos para la empresa. Parte de estos materiales ha sido comercializada con empresas especializadas en reciclaje; sin embargo, una porción importante, como las bolsas multilaminadas, quedó acumulada, evidenciando la necesidad de optimizar su gestión para evitar impactos negativos a largo plazo.

Durante una de las visitas a la planta y en reuniones con los responsables, se identificó un problema específico relacionado con las bolsas utilizadas para el envasado del té destinado a la exportación. Estas bolsas, compuestas por cartón, una capa intermedia de polímero y una base de aluminio, generaban residuos debido a daños durante el proceso productivo, manipulación inadecuada o al ser rotas tras largos períodos de almacenamiento para liberar el producto y crear mezclas (blendear). Además, los estándares de calidad exigían romper las bolsas y someter el té a un nuevo secado si no cumplía con los requisitos microbiológicos, lo que incrementaba aún más la cantidad de residuos generados.

La acumulación de estas bolsas comenzó a generar problemas de espacio en la planta, dificultando su manejo y acentuando la necesidad de una gestión más eficiente. Dado que los materiales que las componen no son compostables ni de fácil reciclaje, su disposición inadecuada representaba un impacto ambiental negativo.

3.4.3 Otros análisis

En la planta estudiada, se identificó que solamente en algunos lugares se disponía de tachos de basura diferenciados para elementos orgánicos e inorgánicos. Esta situación puede ser una razón que dificulta la posterior comercialización de los residuos si los mismos necesitan separación, ya que la mezcla de diferentes tipos requiere un esfuerzo adicional para su separación y clasificación.

En el ecomapa (Fig. 4) se representan los puntos críticos de generación de residuos a lo largo del proceso productivo. Esta herramienta permite localizar las áreas de mayor acumulación de desechos y así identificar de forma rápida cuales son las áreas en las cuales se deben implementar soluciones o atender para disminuir la cantidad de residuos generados.

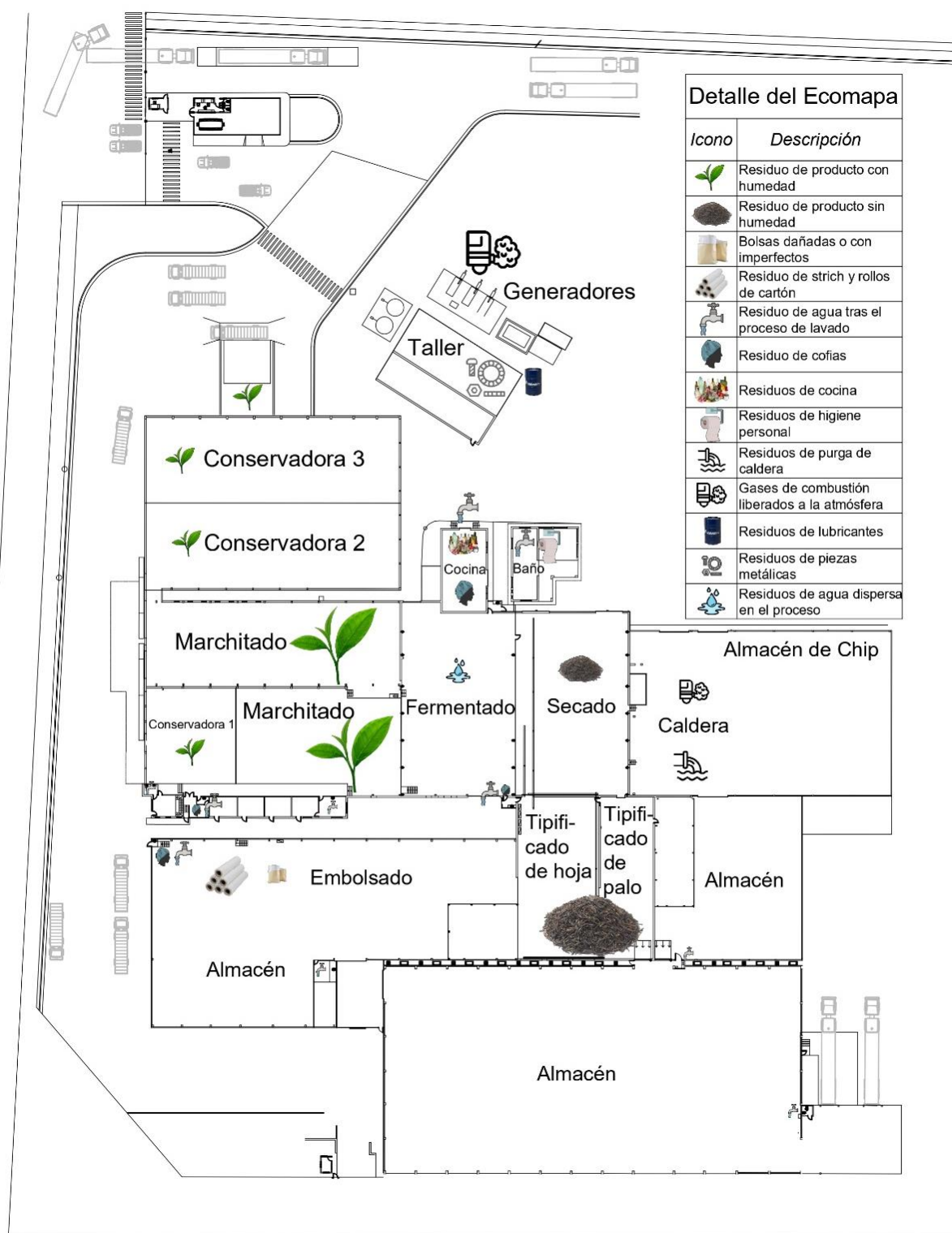


Fig. 4. Ecomapa de residuos.

Fuente: Elaboración propia a través de AutoCAD V. 2021.

3.5 Recomendaciones técnicas de mejora

A fin de mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto negativo de los residuos generados durante el proceso de producción, se realizan las siguientes recomendaciones técnicas:

- Un sistema de recolección neumática, en la operación de tipificado, que permita eliminar las bandejas recolectoras y transportar automáticamente los residuos reutilizables al inicio de la línea, reduciendo la dependencia del control manual y optimizando el reaprovechamiento de la materia prima.
- Instalación de bandejas internas en la marchitadora, las cuales cuenten con cepillos y un sistema de cadenas que facilite la recuperación de hojas caídas, minimizando la pérdida de materia prima y evitando interrupciones por limpieza frecuente.
- Para gestionar los residuos de bolsas multilaminadas, se propone el reciclaje mecánico y químico. En el reciclaje mecánico se tritura y reutiliza los materiales en nuevos productos, mientras que el reciclaje químico, como la pirólisis, se descompone las bolsas en subproductos como aceites y combustibles. Además, se plantea la reducción de desperdicios a través de capacitación al personal, mejorando el manejo de las bolsas para evitar roturas, y mediante ecodiseño, optimizando los materiales y estructura de los empaques para hacerlos más resistentes y sostenibles. Como última alternativa, se podría considerar la incineración controlada con recuperación de energía, utilizando estos residuos como fuente de calor para la caldera de la planta, asegurando el cumplimiento de normativas ambientales para minimizar las emisiones contaminantes.
- Implementar un sistema de clasificación de residuos mediante tachos diferenciados, con esto, se mejora la segregación de desechos, facilitando su reciclaje y reduciendo la contaminación cruzada, lo que contribuye a una producción más sostenible.

4. Conclusiones

El trabajo y análisis realizado permitieron evidenciar que la gestión de residuos en la producción de té negro es un factor determinante para optimizar recursos, minimizar pérdidas y reducir el impacto ambiental, un aspecto fundamental en los tiempos actuales. A través del balance de masa, el diagrama de Ishikawa, el ecomapa y el mapeo de procesos, se identificaron los puntos críticos de generación de residuos en la planta, destacando las etapas de Marchitado y Tipificado como las principales fuentes de desperdicio de materia prima.

Los residuos más representativos incluyen la caída de hojas verdes al suelo, la acumulación de material en bandejas recolectoras y equipos, el desborde de producto en los sistemas de clasificación y la generación de partículas finas en el secado y tipificado. A su vez, los residuos no compostables, como plásticos stretch, bolsas multilaminadas y rollos de cartón, representan un desafío a afrontar en términos de gestión y disposición final de residuos o bien flujo circular.

La ausencia de mecanismos eficientes de recolección y el manejo inadecuado de los residuos generados en el establecimiento pueden derivar en pérdidas económicas, ambientales y operativas significativas. Por ello, se han propuesto mejoras como la implementación de sistemas de recolección neumática, la optimización de bandejas recolectoras y el rediseño de empaques con criterios de ecodiseño. Además, se sugiere reforzar la capacitación del personal en la separación y manejo de residuos, así como establecer alianzas con empresas especializadas en reciclaje para mejorar la disposición final de los materiales no compostables y fortalecer la responsabilidad social empresarial.

El fortalecimiento de la gestión de residuos en la industria del té en el establecimiento estudiado, no solo contribuye a la sostenibilidad y al cumplimiento de normativas ambientales, sino que también permite optimizar el aprovechamiento de la materia prima y mejorar la eficiencia del proceso productivo. Asimismo, la implementación de estrategias basadas en el análisis de datos y la mejora continua representa una oportunidad clave para que la empresa reduzca costos, minimice su impacto ambiental y consolide un compromiso con la producción responsable y con ello mejore sus indicadores de sustentabilidad.

Referencias

- [1] G. J. Schuster, “Impacto de buenas prácticas productivas en la calidad microbiológica de té negro,” Ph.D. disertación, Facultad de Química y Farmacia, Univ. Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2009.
- [2] ISO. “ISO 22000:2018 Sistemas de gestión de la seguridad alimentaria. Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria”, ISO, Ginebra, Suiza. [En línea]. Disponible: <https://www.iso.org/standard/65464.html>. [Accedido: 6 de diciembre de 2024].
- [3] R. De la Vara Salazar y H. Pulido Gutiérrez, “Herramientas básicas para Seis Sigma,” en *Control estadístico de la calidad y seis sigma*, 2ª ed., Ciudad de México, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2009, capítulo 6, pp. 152–177.
- [4] Y. A. Cengel y M. A. Boles, “Análisis de masa y energía,” en *Termodinámica*, 7ª ed., Nueva York, NY, USA: McGraw-Hill, 2012, capítulo 5, sección 5.8, pp. 222.