



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE CONCEPCIÓN: "REY
BALDUINO DE BÉLGICA"**

**Propuesta de optimización de procesos internos para la
reducción de ineficiencias y aumento de la productividad en un
Laboratorio de Análisis Físicoquímicos.**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniería de Ejecución en Gestión de la
Calidad

Alumno: Luis Antonio Salgado Nauco

Profesor Guía: Juan Pablo Inostroza Saldías

2024



CONTENIDO

Capítulo 1: Antecedentes Generales	1
1.1 Contexto de la empresa.	1
1.2 Justificación del proyecto.....	1
1.3 Objetivo general.	3
1.4 Objetivo específico.	3
1.5 Alcance.	4
1.6 Limitaciones.	4
Capítulo 2: Marco Teórico.....	5
2.1 Metodología de Calidad.	6
2.2 Herramientas de Calidad.	8
2.2.1 Herramientas Lean y Kaizen.....	8
2.2.2 Diagrama de causa-efecto (Ishikawa).....	8
2.2.3 Diagrama de Pareto.	9
2.2.4 Gráficos o cartas de control y capacidad.	9
2.2.5 FMEA (Análisis modo y efecto de fallas).....	10
2.2.6 Diagrama PERT.	10
2.2.7 Diagrama SIPOC.....	10
2.2.8 Diagrama de flujo de procesos.	11
2.2.9 Diagrama de Espaguetti.....	11
Capítulo 3: Desarrollo.....	12
3.1 Levantamiento e Identificación de datos claves.	12
3.1.1 Visitar áreas del laboratorio e identificación de procesos claves.	12
3.1.2 Procedimientos operativos.	14
3.1.3 Entrevistas.	16
3.1.4 Recolección y validación de datos.	18
3.2 Analizar e Interpretar los datos.	52
3.3 Mapeo del flujo de valor.	62
Capítulo 4: Propuesta de mejora.....	77
4.1 Desarrollo Propuesta de mejora.	77
4.2 Evaluación de la factibilidad.....	81
Capítulo 5: Conclusiones y Sugerencias.	86
Capítulo 6: Bibliografía	87
Capítulo 7: Anexo.	90



Índice de Gráficos

Gráfico 1-1: Cumplimiento fechas de entrega año 2023.....	2
Gráfico 1-2: Aprobación resultados suelos entre los años 2021 a 2023.	2
Gráfico 3-1: Resultados encuesta conocimiento & capacitación.	16
Gráfico 3-2: Resultados encuesta recursos y condiciones de trabajo.....	17
Gráfico 3-3: Resultados encuesta comunicación y coordinación.....	17
Gráfico 3-4: Resultados encuesta gestión y supervisión.	17
Gráfico 3-5: Resultados encuesta cultura y mejora.....	17
Gráfico 3-6: Resultados encuesta distribución y organización de espacios.	18
Gráfico 3-7: Carta control de individuales procesos de aprobación de folios.....	52
Gráfico 3-8: Grafico de capacidad proceso de aprobación de folios.	52
Gráfico 3-9: Pareto U.F totales por servicios ofrecidos por el laboratorio.	57
Gráfico 3-10: Diagrama PERT servicio critico C.U.	59
Gráfico 3-11: Diagrama PERT servicio critico Fe.C.	60
Gráfico 3-12: Diagrama PERT servicio critico C.DS4.	61

Índice de tablas

Tabla 1-1: Desglose cantidad de muestras y valores monetarios por año.	3
Tabla 3-1: Matriz análisis de suelos por analistas.	23
Tabla 3-2: Resumen recolección de datos capacidad y rendimiento por análisis. ...	51
Tabla 3-3: Análisis de modos y efectos de fallos parte 1.	53
Tabla 3-4: Análisis de modos y efectos de fallos parte 2.	54
Tabla 3-5: Análisis de modos y efectos de fallos parte 3.	55
Tabla 3-6: Cantidad de muestras por servicio.	55
Tabla 3-7: Descripción de los servicios ofrecidos por el laboratorio.	56
Tabla 3-8: Valores monetarios de los servicios ofrecidos por el laboratorio.	56
Tabla 3-9: Tabla de actividades de servicios críticos ofrecidos por el laboratorio. ...	58
Tabla 3-10: Tabla de actividades servicio critico C.U.	59
Tabla 3-11: Tabla de actividades servicio critico Fe.C.	60
Tabla 3-12: Tabla de actividades servicio critico C.DS4.	61
Tabla 3-13: Asignación de criticidad a categorías del diagrama de Ishikawa.	74
Tabla 3-14: Evaluación de ponderación de las subcategorías de medición.	74
Tabla 3-15: Evaluación de ponderación de las subcategorías de medio ambiente. .	75
Tabla 3-16: Evaluación de ponderación de las subcategorías de métodos.	75
Tabla 3-17: Contribución de las subcategorías en las categorías críticas.....	76
Tabla 4-1: Propuestas de mejora planteadas en base al análisis causa raíz.....	77
Tabla 4-2: Tabla de costos propuestas de mejoras presentadas.	81
Tabla 4-3: Escenarios caso B proyección de aumento de muestras.	83
Tabla 4-4: Beneficio esperado y neto caso B en base al aumento de muestras.....	83
Tabla 4-5: Retorno de inversión casos planteados.	83
Tabla 4-6: Valor actual neto casos planteados.	84
Tabla 4-7: Tasa interna de retorno casos planteados.	84



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Índice de ilustraciones

Ilustración 2-1: "El Diagrama de la Trilogía de Juran (De Juran, 1986)." (Adaptado de Gryna, 2007).	6
Ilustración 3-1: Diagrama SIPOC procesos críticos del laboratorio.....	13
Ilustración 3-2: Diagrama Espagueti movimientos dentro del laboratorio.	19
Ilustración 3-3: Diagrama de flujo proceso recepción de muestras.	63
Ilustración 3-4: Diagrama de flujo procesamiento de muestras.	64
Ilustración 3-5: Diagrama de flujo análisis de pH.	65
Ilustración 3-6: Diagrama de flujo análisis de materia orgánica.	66
Ilustración 3-7: Diagrama de flujo análisis de pastas de saturación.	67
Ilustración 3-8: Diagrama de flujo análisis de densidad aparente.	68
Ilustración 3-9: Diagrama de flujo análisis de textura.....	69
Ilustración 3-10: Diagrama de flujo análisis de retención de humedad.	70
Ilustración 3-11: Diagrama de flujo aprobación y liberación de folios.	71
Ilustración 3-12: Diagrama de flujo envío de resultados.	72
Ilustración 3-13: Diagrama Ishikawa Ineficiencia y Productividad.	73
Ilustración 4-1: Matriz Impacto vs Facilidad propuestas de mejora.....	77
Ilustración 7-1: Distribución actual área de procesamiento de muestras.	90
Ilustración 7-2: Distribución propuesta área de procesamiento de muestras.	91



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Dedicatoria

En primer lugar, a mí mismo, por atreverme a seguir estudiando después de tanto tiempo.

En segundo lugar, a mí mismo, por ser perseverante y nunca darme por vencido cuando el panorama se puso difícil.

En tercer lugar, a todos los que dijeron que no llegaría a ningún lado con esta actitud, ya que me dieron la energía suficiente para continuar mi propio camino.

Por último, a mi núcleo familiar por soportarme en estos 3 años donde debía enfocarme en los estudios.



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad identificar las posibles oportunidades de mejora que permitan la optimización de procesos internos en las diferentes áreas de un laboratorio de análisis fisicoquímicos para la matriz de suelo. El levantamiento de información para el proyecto se realizó a través de encuestas y de forma presencial acompañando a cada colaborador en su quehacer diario para obtener una mayor cantidad de información y detalles que pueden pasar por alto cuando se relatan los procesos.

Para el análisis de los datos recopilados se utilizaron diferentes herramientas de las cuales se destacan Pareto, cartas control, diagramas de flujo de procesos, análisis causa raíz, AMEF y SIPOC.

Dentro de las problemáticas encontradas destacan los procesos no estandarizados, limitaciones en la distribución y el equipamiento y el incumplimiento de plazos de entrega.

Como propuesta de mejora se plantea la estabilización del proceso mediante la estandarización de las actividades y la reestructuración de un área específica para maximizar su rendimiento.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Contexto de la empresa.

La empresa en estudio es un laboratorio que realiza análisis físicos y químicos en diferentes matrices, dentro de las que se destacan los suelos, tejido vegetal, sustratos, frutos y soluciones (agua de riego y líquidos fertilizantes) para el área agrícola y el área ambiental.

El laboratorio cuenta con una planta de 19 colaboradores, que se distribuyen en el sector administrativo, ambiental y analítico. El sector administrativo lo componen 6 personas, el sector ambiental lo componen 2 personas y el sector analítico lo componen 11 personas.

Los principales servicios que ofrece el laboratorio son los análisis de fertilidad en suelo enfocado en la nutrición del suelo, los análisis nutricionales en tejido vegetales para monitorizar el estado de los árboles frutales y los estudios agrologicos, que permiten hacer una caracterización del tipo de suelo para determinar la clasificación según pauta del servicio agrícola y ganadero.

Debido a los acontecimientos del año 2019 (estallido social) y año 2020 (pandemia por COVID), los tiempos ofertados pasaron de 10 días hábiles a 12 días hábiles para la matriz de suelo.

1.2 Justificación del proyecto.

Hasta el año 2022 el laboratorio se caracterizaba por el alto porcentaje de cumplimiento de los plazos de entrega de los informes a sus clientes, siendo superior al 90 por ciento, pero en el último tiempo este porcentaje ha disminuido drásticamente cerrando el año 2023 con un cumplimiento del 35 por ciento en las fechas de entregas acordadas.

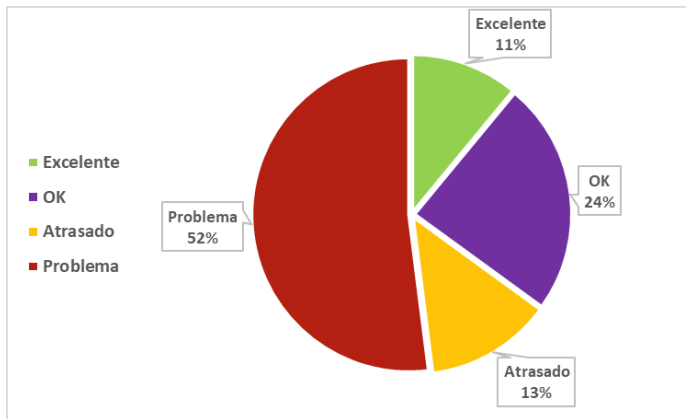


Gráfico 1-1: Cumplimiento fechas de entrega año 2023.

En el gráfico 1-1, se observa el desglose del cumplimiento en la fecha de entrega para el año 2023, siendo de solo 35 por ciento la entrega en fecha o anticipada y de un 65 por ciento la entrega fuera de plazo, con un alarmante 52 por ciento en la categoría problema, que significa entregar con 2 o más días después de la fecha acordada con el cliente.

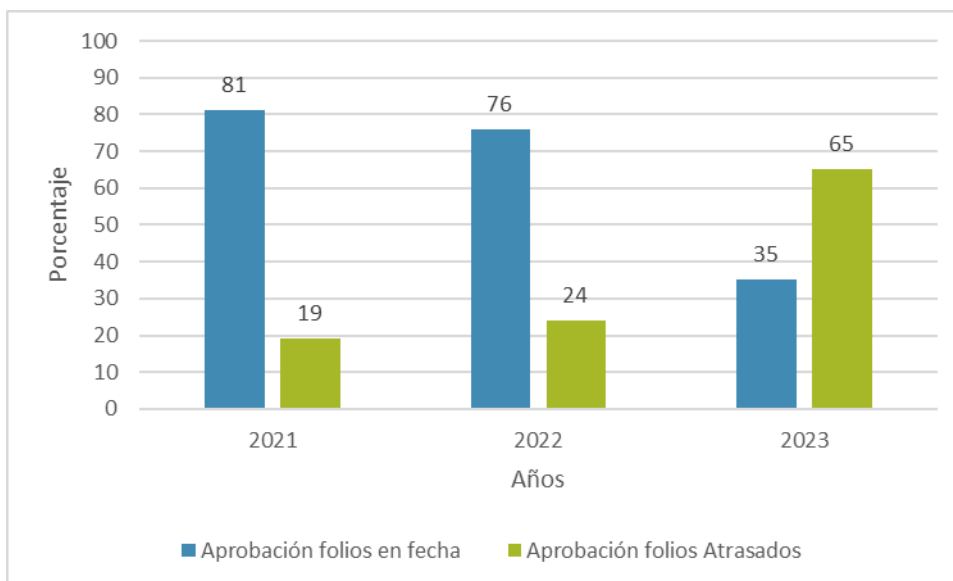


Gráfico 1-2: Aprobación resultados suelos entre los años 2021 a 2023.

En el gráfico 1-2, se observa la disminución en el porcentaje de aprobación de los folios de las muestras de suelo en la fecha acordada con el cliente, pasando de 81 por ciento el año 2021 al 35 por ciento el año 2023.

Este deterioro en la capacidad para cumplir con los tiempos acordados ha puesto en riesgo la competitividad del laboratorio y la retención de clientes clave.

Año	Muestras Suelo	Valor U.F	Valor \$ CLP
2021	7151	10383.252	\$ 398,633,188
2022	6932	10065.264	\$ 386,425,012
2023	5828	8462.256	\$ 324,882,425

Tabla 1-1: Desglose cantidad de muestras y valores monetarios por año.

En la tabla 1-1, se considera un valor U.F de 38,391.94 al día 21 de diciembre de 2024, y se refleja la disminución en la cantidad de muestras de suelo ingresadas al laboratorio, pasando de 7151 el año 2021 a 5828 el año 2023, lo que significa una disminución en ingresos de 1920.996 U.F, lo que se traduce en \$ 73,750,763 pesos.

Debido a lo anterior, se pretende revertir esta tendencia negativa optimizando los procesos operativos del laboratorio, comenzando con la elaboración de un mapa de flujo de valor, que permita identificar puntos críticos y cuellos de botella que puedan afectar la eficiencia operativa.

1.3 Objetivo general.

Optimizar los procesos operativos del laboratorio de análisis fisicoquímicos, en la matriz de suelo, para reducir ineficiencias y mejorar la productividad.

1.4 Objetivo específico.

Levantar e identificar los datos clave relacionados con los flujos de trabajo y tiempos de procesamiento en los procesos operativos del laboratorio.

- Visitar las diferentes áreas del laboratorio.
- Identificación de procesos claves.
- Revisar los procedimientos operativos.
- Realizar entrevistas al personal.
- Recolección de datos operativos.
- Validación de datos.

Analizar e interpretar los datos recopilados para detectar cuellos de botella, ineficiencias y actividades que no aportan valor dentro del flujo de trabajo.

- Mapeo del flujo de valor.
- Identificación de ineficiencias.
- Análisis de causas raíz.

Proponer soluciones para optimizar los procesos que permitan la reducción de desperdicios y la mejora en la productividad.

- Desarrollo de propuestas de mejora.
- Evaluación de factibilidad.

1.5 Alcance.

El alcance de este proyecto abarca el estudio de los procesos operativos claves para la matriz de suelo, desde el ingreso de la muestra al laboratorio hasta la entrega del informe final al cliente. Se excluyen los procesos financieros de la empresa y los que tienen relación con la adquisición de productos y gestión de inventario que no influyen directamente en los tiempos de los procesos.

1.6 Limitaciones.

- El laboratorio en estudio no cuenta con el levantamiento de información de tiempos de entrega para los distintos procesos.
- Disponibilidad de los colaboradores para realizar las mediciones de los procesos operativos.
- Tiempo disponible para realizar las mediciones durante la jornada laboral.
- Tiempos insuficientes para diagnóstico.
- Variabilidad en el flujo de trabajo.
- Tiempo para una recolección de datos robusta.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

La optimización de procesos constituye el eje principal de este proyecto, se enfocará en identificar y reducir ineficiencias con el fin de mejorar la productividad y garantizar los estándares de calidad. Para eso es necesario saber que es un proceso, un proceso "es un conjunto de actividades interrelacionadas o que interactúan entre sí, que usan entradas a fin de proporcionar los resultados previstos" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 18). Un proceso industrial "son actividades que se llevan a cabo para transformar materias primas y convertirlas en diferentes clases de productos" (Pérez Porto & Merino, 2023)(párr.6), los cuales generan transformaciones tanto forma, color o tamaño.

Según Gutiérrez Pulido (2020), optimizar un proceso implica eliminar actividades que no agregan valor, reducir desperdicios, reducir los reprocesos, los retrasos y mejorar el flujo operativo (Ineficiencias), lo que resulta en un uso más eficiente de los recursos disponibles. Toda empresa debe buscar disminuir las ineficiencias para poder ser más competitivo a nivel industrial, ya que al disminuir las ineficiencias se puede utilizar mejor los recursos disponibles. La optimización de procesos es parte fundamental para lograr la eficiencia operativa y esta "se refiere a la capacidad de una organización para utilizar de manera óptima sus recursos y procesos con el fin de lograr resultados superiores" (Baena Naranjo, 2023)(párr.1).

En el laboratorio, la optimización de procesos se centra en actividades críticas como la recepción de muestras, el procesamiento de muestra, los análisis y la entrega de resultados. Este enfoque permite alcanzar metas específicas como la reducción de tiempos de procesamiento y la mejora en la gestión de recursos, aspectos esenciales para aumentar la competitividad en el mercado. La competitividad se entiende como "la capacidad de una empresa para ofrecer un producto o servicio de mejor manera que sus competidores" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 17). Esta capacidad hoy en día es fundamental, ya que hay diversidad de empresas que ofrecen los mismos productos o servicios y el cliente tiene varias opciones de donde elegir que puedan cumplir con sus expectativas.

Cuando hablamos de productividad nos referimos a los resultados obtenidos con los recursos disponibles, productividad empresarial "se define como capacidad de llevar a cabo las tareas laborales maximizando la eficiencia, orientando las acciones hacia la excelencia en términos de calidad y priorizando la innovación" (SAP Concur Team, 2022)(Párr.17) aquí entran los conceptos de eficacia y eficiencia, que tienen que ver con el grado de cumplimiento de lo que se planifica y los recursos utilizados para cumplir con lo planificado. La eficacia "es el grado en que se realizan las actividades planificadas y se logran los resultados planificados" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 21), mientras que eficiencia es la "relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 21).

Con lo anterior queda claro el enfoque de este proyecto, el que busca mediante diferentes herramientas mejorar los procesos internos de una empresa con el fin de disminuir ineficiencias y mejorar la productividad, lo que según Gutiérrez Pulido (2020), es la mejora de la eficacia.

El concepto de calidad tiene muchas definiciones, diferentes autores la interpretan a su manera y estas definiciones han quedado con el paso del tiempo, para mí la calidad es simplemente la satisfacción del cliente, y esto es porque cada individuo tiene sus propios requerimientos, por ende, lo que una persona percibe como calidad, otra persona la percibe de manera diferente. La definición de calidad es "grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos" (Organización Internacional de Normalización, 2015, pág. 19). Este proyecto garantiza la calidad mediante la estandarización de procesos, el monitoreo constante y la implementación de mejoras continuas basadas en la trilogía de la calidad de Juran.

2.1 Metodología de Calidad.

Como metodología principal se utiliza la trilogía de la calidad de Joseph Juran, la que se divide en 3 principios, planeamiento de la calidad, control de la calidad y mejoramiento de la calidad.

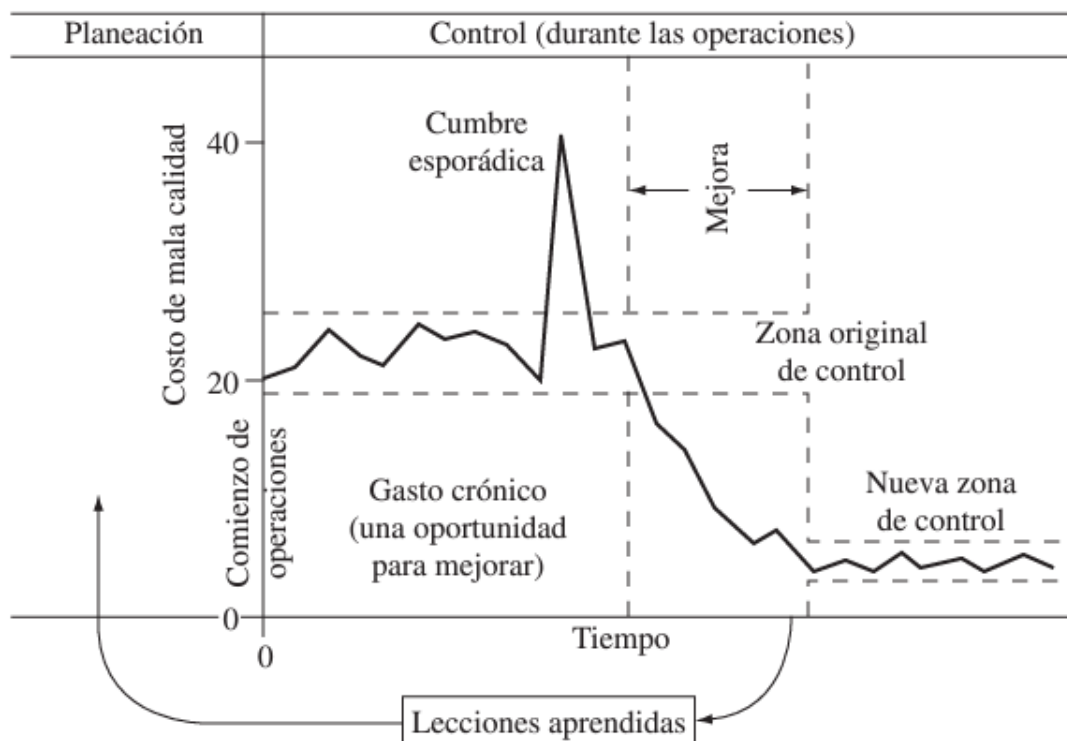


Ilustración 2-1: "El Diagrama de la Trilogía de Juran (De Juran, 1986)." (Adaptado de Gryna, 2007).

La trilogía de la calidad es el "Enfoque de gestión de calidad, que se compone de tres procesos: planificación, control de la calidad y mejora de la calidad" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 41). En la etapa de planificación de la calidad se desarrollan los diferentes procesos, en la etapa de control de la calidad se monitorea si lo planificado se cumple o hay desviaciones y la mejora de la calidad se enfoca en observar las desviaciones surgidas del control, corregirlas para llegar a lo que se planifico.

También se utilizó la filosofía de proceso esbelto (lean), para identificar actividades que no agregan valor dentro de los diferentes procesos (mudas). Un proceso esbelto (lean) es una "filosofía de gestión enfocada en la creación de valor para el cliente mediante la eliminación de las actividades que no agregan valor, maximizando el flujo de los procesos" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 88) y desperdicio o muda es "cualquier aspecto o actividad que genera costos, pero que no agrega valor al producto. El cliente no estaría dispuesto a pagar por esas actividades" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 88). Las mudas o desperdicios se clasifican en 7 actividades:

- sobreproducción: producir en exceso cuando no es requerido.
- Esperas: Tiempo donde no hay actividades que agreguen valor al producto.
- Transportación: Movimientos innecesarios.
- Sobreprocesamiento: Esfuerzos en actividades que no agregan valor al producto.
- Inventarios: Cantidad mayor de insumos o partes requeridos para cumplir con los pedidos de los clientes.
- Movimientos: Movimientos de materiales o personas que no son necesarios dentro de un proceso.
- Retrabajo: Repetición o corrección de un proceso debido a errores o descuidos.

Existen 3 tipos de actividades dentro de los procesos, las que crean o agregan valor, las que no agregan valor, pero no se pueden eliminar (muda tipo 1) y las que no agregan valor y se pueden eliminar (muda tipo 2). Estas últimas son las que deben tratar de eliminarse de todos los procesos una vez identificadas.

Por último, se utilizó la metodología de 5 S, la cual busca mantener los espacios de trabajo funcionales y ordenados, la metodología 5 S es una "metodología para organizar los lugares de trabajo con el propósito de mantenerlos funcionales, limpios ordenados, agradables y seguros" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 103). Esta metodología se clasifica en 5 etapas o capítulos:

- Seiri (seleccionar): Seleccionar lo necesario que permita realizar la labor y eliminar del espacio de trabajo lo que no sea útil o entorpezca el trabajo.
- Seiton (ordenar): Se refiere a organizar el espacio designado a las diferentes labores, colocando cada elemento en un lugar designado para que tenga una ubicación clara.
- Seiso (limpiar): Esmerarse en mantener limpio el lugar de trabajo durante la realización de las diferentes tareas y prevenir la acumulación de suciedad.

- Seiketsu (Estandarizar): Mantener las tres primeras S para mantener el orden.
- Shitsuke (autodisciplina): Tener las cuatro S como estilo de vida.

Esta metodología busca "tener áreas de trabajo más ordenadas y limpias de forma permanente para mejorar la productividad" (Felix Gil, Gastelum Acosta, Soto Luzanía, Macias Velasquez, & Sanchez Lizarraga, 2024, pág. 9).

Con estas metodologías y filosofías se realizó este proyecto, el cual busca la optimización de los procesos de una forma sencilla y simple para evitar el caos a la hora de implementar.

2.2 Herramientas de Calidad.

Todo proyecto de mejora debe utilizar herramientas que permitan identificar problemas y mejorar la calidad de los productos. Con estas herramientas "se pueden mejorar los procesos y hasta realizar auditorías de forma eficaz para evaluar las actividades" (Equipo de Expertos en Ciencia y Tecnología, 2023)(párr.4). Dentro de las herramientas utilizadas en este proyecto tenemos:

2.2.1 Herramientas Lean y Kaizen.

La metodología Lean Manufacturing se compone de diversas herramientas y "busca optimizar los procesos de producción al eliminar actividades que no añaden valor" (Baldeon Cervantes & Barrios Treviño, 2024, pág. 23). Las herramientas Lean y Kaizen se enfocan en la mejora continua y la eliminación de actividades que no agregan valor. Kaizen "busca estandarizar los procesos y servicios para poder tener control y mejoramiento de cada uno de estos" (Moreno Jara, 2023, pág. 15), lo que resulta en procesos más eficientes y flexibles.

2.2.2 Diagrama de causa-efecto (Ishikawa).

El diagrama de Ishikawa permite identificar las causas principales de problemas en los procesos, generalmente se utiliza con la metodología 6M, aunque también puede utilizarse como flujo de proceso y enumeración de causas, todo depende de cómo se organicen o busquen las causas. El diagrama de causa-efecto o Ishikawa es un "método gráfico que relaciona un problema o efecto con sus posibles causas" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 200) y el método de las 6M como "método para realizar

un análisis con un diagrama de Ishikawa, en donde se agrupan las causas potenciales de acuerdo con las 6M" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 200). El diagrama de Ishikawa "viene a ser un elemento fundamental, que posibilita examinar los elementos que intervienen en la calidad del producto/servicio mediante una interacción de causa y efecto" (Burgasí Delgado, Cobo Panchi, Pérez Salazar, Pilacuan Pinos, & Rocha Guano, 2021, pág. 1213). Dentro de las 6 M están las categorías de mano de obra, métodos, maquinarias, material, mediciones y medio ambiente.

2.2.3 Diagrama de Pareto.

El principio de Pareto (80-20), el 20 por ciento de los elementos generan el 80 por ciento de los efectos, ayuda a identificar las causas más significativas de problemas en los procesos al categorizar los problemas por cantidad o frecuencia de ocurrencia. El diagrama de Pareto es una "gráfica de barras que ayuda a identificar prioridades y causas, ya que se jerarquizan por orden de importancia los diferentes problemas que se presentan en un proceso" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 187). El objetivo fundamental de esta herramienta es "encontrar y emitir juicios basados en niveles de prioridad" (Martínez Aspiros, 2024, pág. 27).

2.2.4 Gráficos o cartas de control y capacidad.

Las cartas de control son herramientas del control estadístico de procesos que permiten estabilizar los procesos cuando se detecta inestabilidad (puntos fuera de los límites de control) y monitorear los procesos, existen diferentes tipos de cartas de control, como X-R, de individuales, p, np, c y u. El objetivo básico de una carta de control es analizar cómo se comporta un proceso a lo largo del tiempo. Una carta control es una "gráfica que sirve para observar y analizar la variabilidad y el comportamiento de un proceso a lo largo del tiempo, con base en muestras de una variable" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 231) y los límites de control "indican la variabilidad esperada para un estadístico, como la media o el rango, de una muestra de una variable de un proceso" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 231). En laboratorios químicos "sirven para hacer seguimiento de los procesos del laboratorio, principalmente en el aseguramiento de la validez de los resultados" (Delgado, 2023)(párr.5).

Para este proyecto se utilizó la carta control de individuales, debido a que los procesos del laboratorio requieren un tiempo prolongado para llegar a su término que es la entrega de resultados a los clientes. La carta de individuales es un "diagrama para variables numéricas donde se registra cada medición de dicha variable. Se aplica a procesos lentos, donde hay un espacio largo de tiempo entre una medición y la siguiente" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 248).

La capacidad del proceso se refiere a que tan capaz es el proceso para cumplir con las especificaciones que requiere el cliente. La capacidad consiste en conocer la "amplitud de la variación natural del proceso en relación con sus especificaciones y

su ubicación respecto al valor nominal, para una característica de calidad dada" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 167). "Para que se determine numéricamente el valor de C_p , se debe comparar la variación tolerada respecto a la variación real" (Rojas Cueva, 2024, pág. 7).

2.2.5 FMEA (Análisis modo y efecto de fallas).

El análisis de modo y efecto de fallas es un procedimiento que sirve para detectar posibles riesgos a partir de causas específicas, "El AMEF utiliza un análisis de criticidad de los posibles fallos y efectos por medio de un cálculo que tienen en cuenta la gravedad/severidad, frecuencia y detección" (Contreras, 2023)(párr.6). El AMEF se basa en visualizar rutas "en que un equipo, proceso o sistema puede fallar, identificando los diferentes riesgos y de esta forma poder evaluar objetivamente las causas y efectos que se podrán desencadenar dentro de la industria" (Garzón Medina, 2020, pág. 7). El AMEF tiene por objetivo "realizar el cálculo del Índice de Prioridad de Riesgo (IRP) para priorizar y tomar decisiones." (Contreras, 2023)(párr. 6). Es fundamental ser consecuente con la asignación de valores para las categorías de gravedad, frecuencia y detección, para realizar un análisis que no tenga un sesgo y pueda desvirtuar el fallo a atacar.

2.2.6 Diagrama PERT.

El diagrama PERT (Program Evaluation and Review Technique), sirve para visualizar las diferentes actividades de manera secuencial de un proyecto con el objetivo de determinar la ruta crítica del proyecto, este diagrama generalmente permite observar las actividades que se pueden transformar en cuellos de botella. El PERT "Proporciona una representación visual del cronograma de un proyecto y desglosa las tareas individuales. Este diagrama es similar al diagrama de Gantt, pero su estructura es diferente." (ASANA, Team, 2024)(párr. 3). También "la metodología PERT/CPM no solo revela áreas de enfoque, sino que también proporciona una base sólida para decisiones informadas y optimización continua" (Morán Montenegro, Dávila González, & Trujillo González, 2024, pág. 152).

2.2.7 Diagrama SIPOC.

El SIPOC es un diagrama que permite mapear los procesos críticos, sus interacciones y los requisitos de cada actividad. El diagrama SIPOC o PEPSU en español es "un diagrama de procesos al que se le identifican sus proveedores, las entradas, el proceso mismo, sus salidas y los usuarios" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 209). El diagrama SIPOC como herramienta "permite analizar en profundidad el proceso y su entorno con la finalidad de comprender las conexiones entre los proveedores, las

entradas, los procesos, las salidas y los clientes" (Correa Gavilanez & Zambrano Rodriguez, 2024, pág. 28), facilitando la comprensión de las interacciones.

2.2.8 Diagrama de flujo de procesos.

Los diagramas de flujo son herramientas que permiten visualizar las diferentes actividades de un proceso y como se vinculan entre ellas. El diagrama "no solo facilita la comprensión y la gestión del proceso, sino que también contribuye significativamente a la eficiencia operativa" (Cassemiro, 2024)(párr.15). Requiere de un inicio representado por una figura circular, seguido de los procesos representados por un rectángulo y si hay que tomar decisiones entre las actividades estas deben ser representadas con un rombo. El diagrama de flujo de procesos es "una representación gráfica de la secuencia de los pasos de un proceso, que incluye inspecciones y retrabajos" (Gutiérrez Pulido, 2020, pág. 207). En este proyecto, se realizaron los diagramas de flujo del laboratorio para diferentes procesos.

2.2.9 Diagrama de Espaguete.

Los diagramas de espaguete permiten visualizar los movimientos y calcular la distancia que debe recorrer un operario para realizar una tarea de un proceso específico. Una definición de los diagramas de espaguete es "Un diagrama de espaguetis es una forma rápida y sencilla de seguir las distancias entre las partes, las personas o el trabajo que, de otro modo, sería difícil de representar." (Miro, 2024)(párr. 11). El diagrama de espaguete "permite visualizar e identificar las oportunidades de mejora para reducir tiempos de desplazamientos y eliminar movimientos innecesarios, incrementando la velocidad de los procesos" (Tabblify, 2021)(párr.3). Es fundamental identificar lo que se quiere mejorar y solo enfocarse en un proceso a la vez.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO.

3.1 Levantamiento e Identificación de datos claves.

Cualquier proyecto que busque mejorar u optimizar los procesos operativos debe comenzar con visitar las diferentes áreas involucradas en los procesos. En este proyecto, que contempla el flujo desde que la muestra se recepciona por el laboratorio hasta que el resultado es enviado al cliente, es necesario visualizar cada actividad que realizan los distintos colaboradores en su día a día, observar la distribución de espacios y como cada persona va desarrollando las distintas labores que permiten transformar la muestra de suelo inicial en un informe de laboratorio. Este análisis también nos permite conocer o identificar cuáles son los procesos claves que debe atravesar cada muestra para poder proporcionar el servicio que solicita cada cliente.

3.1.1 Visitar áreas del laboratorio e identificación de procesos claves.

Al recorrer el laboratorio se pudo identificar los siguientes procesos claves:

- Ingreso de muestras: Corresponde al proceso de ingresar la muestra recibida de parte del cliente al sistema de laboratorio con un número de folio, un número de laboratorio y una analítica asociada.
- Secado y Tamizado: Corresponde al proceso de colocar la muestra ingresada en una estufa de aire forzado a una temperatura de 40° C hasta que su porcentaje de humedad sea inferior al 3 por ciento, para luego ser disgregada y tamizada de forma manual.
- Análisis Físicoquímicos: Corresponde a la realización de diferentes técnicas de análisis cuantitativas, para determinar diferentes tipos de analitos o parámetros tanto físicos como químicos.
- Revisión y liberación de informes: Corresponde a la revisión de parámetros de calidad de los diferentes análisis solicitados, para la carga masiva al sistema del laboratorio de los datos obtenidos y una vez que se complete el folio a revisar liberarlo para su entrega.
- Envío de informes: Corresponde al envío del informe final al cliente, en formato PDF, luego de ajustar parámetros de formato.

Diagrama SIPOC

Proveedores Suppliers	Entradas Input	Requerimientos	Proceso Process	Salida Output	Requerimientos	Cliente Customers
<i>Ciente</i>	Muestra de suelo, humeda, con piedras y terrones.	O.C completa - Muestra con 1.5 kg minimo	Ingreso de muestras	Muestra de Suelo, humeda, con piedras y terrones, con un N° de folio y N° de Laboratorio.	Muestra con identificada - 1.5kg minimos	Auxiliar de Laboratorio
Secretaria Administrativa	Muestra de Suelo, humeda, con piedras y terrones, con un N° de folio y N° de Laboratorio.	Muestra con identificada - 1.5kg minimos	Secado y Tamizado	Muestra de suelo, seca y tamizada, con N° de laboratorio	Muestra seca - Sin terrones - Sin piedras- Tamizada a 2mm En un frasco con N° de laboratorio	Analistas de laboratorio
Auxiliar de Laboratorio	Muestra de suelo, seca y tamizada, con N° de laboratorio	Muestra seca - Sin terrones - Sin piedras- Tamizada a 2mm En un frasco con N° de laboratorio	Análisis Físicoquímicos	Reportes de resultados analíticos sin revisar - Registros de resultados analíticos sin revisar	Libro de registro de análisis con fechas - Reportes físicos y digitales	Jefe de Laboratorio
Analistas de Laboratorio	Reportes de resultados analíticos sin revisar - Registros de resultados analíticos sin revisar	Libro de registro de análisis con fechas - Reportes físicos y digitales	Revisión y Liberación de Informes	Informes de laboratorio revisados y aprobados	Resultados en sistema finalizados - Estado del folio Aprobado - Comentarios Externos de ser necesarios	Asistente Administrativo
Jefe de Laboratorio	Informes de laboratorio revisados y aprobados	Resultados en sistema finalizados - Estado del folio Aprobado - Comentarios Externos de ser necesarios	Envío de Informes	Informe final en PDF	Resultados analíticos del servicio contratado en formato electronico, de la muestra de suelo enviada.	<i>Ciente</i>

Ilustración 3-1: Diagrama SIPOC procesos críticos del laboratorio.

En la ilustración 3-1, se observan los diferentes procesos claves del laboratorio con sus requerimientos, desde el ingreso de la muestra hasta que se le envía el informe final al cliente.

Después de identificar los procesos claves y determinar los requerimientos mínimos de cada proceso, toca el turno de revisar los procedimientos estándar para determinar que lo visto en terreno se ajustara a lo descrito en cada SOPs.

3.1.2 Procedimientos operativos.

Se revisaron los siguientes procedimientos:

- **Recepción de muestras:** En este procedimiento se especifica la cantidad mínima de muestra que debe aceptar el laboratorio para las diferentes matrices, en el caso del proyecto, nos enfocaremos en la matriz de suelo, la cual requiere un mínimo de masa de 1.5 kilogramos para ingresar, en el caso de no cumplir con el peso mínimo, establece que se le debe consultar al jefe de laboratorio si se puede recepcionar, ya que hay muchos factores que influyen como el contenido de agua o de piedras que pueda tener la muestra de suelo. También se establece los pasos para ingresar la muestra al laboratorio, además de la masa, que tenga la orden de ingreso con los datos necesarios, una vez que eso esta chequeado, se genera el folio en el sistema y se le asigna un número de laboratorio, el cual permite el ingreso al área de procesamiento de muestras.
- **Secado y Tamizado:** Al revisar este procedimiento se detectó que no estaba actualizado, si bien, el paso a paso general está documentado, que es colocar la muestra en bandejas previamente rotulada, colocar en estufa de secado a 40°C y cuando este seca, tamizar por una malla de 2mm y trasvasiar a un frasco previamente rotulado, varias actividades que se realizan no están en el procedimiento, por ejemplo que hacer cuando la muestra tiene un alto contenido de agua, cuando realizar el control de humedad o los pasos a seguir si la muestra ingresada tiene un exceso de piedras, estas situaciones pueden altera la cantidad de muestra disponible para ser procesada, lo que para un futuro, generara problemas al incorporar nuevo personal para el puesto, ya que el procedimiento incompleto no proporciona las indicaciones necesarias para que ejecuten todas las actividades correctamente.
- **Análisis Físicoquímicos:** La revisión de los distintos procedimientos de análisis fue una de las tareas más complejas, la gran cantidad de metodologías que realiza el laboratorio para la matriz de suelo, conlleva una gran cantidad de tiempo para su revisión.

En esta etapa nos encontramos que el laboratorio está entrando en una actualización de los procedimientos operativos, para consolidar todos los métodos con vías a un manual general, que permita el acceso más expedito a la información, por lo anterior la mayoría de los procedimientos están desactualizados en comparación a como se realizan los distintos métodos, recalcar que el hecho de que estén desactualizados no significa que se realicen de forma incorrecta, porque se respetan las bases de cada metodología, ya sea reactivos a utilizar, tiempos de agitación o relación muestra/extractante. Lo que busca la actualización de los procedimientos es un paso a paso más detallado, que no permita dobles interpretaciones y que no sea tan genérico como esta descrito en las metodologías oficiales.

Esta actualización esta más enfocada a los análisis químicos, los análisis físicos son un tema diferente, porque la mayoría son metodologías nuevas, así que la actualización como tal no aplicaría para este tipo de procedimientos.

- Revisión de datos: En la actualidad no existe un protocolo estandarizado para esta actividad, las personas encargadas de la revisión y carga de datos aplican los conocimientos y la experiencia previa obtenida, si bien para cada análisis hay fundamentos que revisar, como la desviación de las muestras testigos o los duplicados, estos criterios se aplican de manera subjetiva debido a la ausencia de una guía estructurada a la hora de revisar y cargar de forma masiva al sistema del laboratorio.

La falta de un procedimiento escrito puede derivar en inconsistencias entre diferentes revisores, mayor tiempo para la revisión y errores en la carga de datos.

- Envío de informes: Este procedimiento especifica en detalle los pasos necesarios que se deben realizar a la hora de enviar el informe final al cliente, donde lo primero que se realiza es verificar la situación financiera, donde existen 2 tipos de modalidades.
 - 1- Pago contra entrega: Si el cliente tiene un acuerdo de pago contra entrega, el responsable del envío de los resultados debe notificarle que están listos y solicitarle que adjunte el comprobante de pago, una vez que se confirma la recepción del comprobante el informe es enviado.
 - 2- Facturación: En los casos en que el cliente cuente con un convenio de facturación, ya sea a 30 o 60 días, el informe se envía directamente.

Todo informe se envía en formato PDF.

Una vez que se termina con la revisión de los procedimientos operativos se coordinan entrevistas con cada involucrado en el proceso.

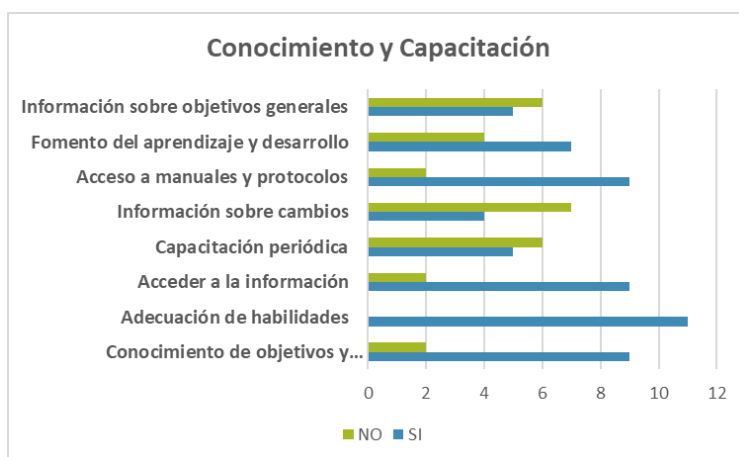
3.1.3 Entrevistas.

La etapa de entrevistas al personal es muy relevante para comprender en profundidad los flujos de trabajo, identificar ineficiencias y detectar oportunidades de mejora en los procesos del laboratorio. En las entrevistas se obtuvo una perspectiva interna, directamente desde los colaboradores que ejecutan o supervisan los procesos, y conocer los retos y necesidades específicas que enfrentan en su trabajo diario.

El objetivo principal de las entrevistas fue recolectar información cualitativa clave relacionada con los procedimientos, la organización de tareas y los tiempos de procesamiento de cada etapa.

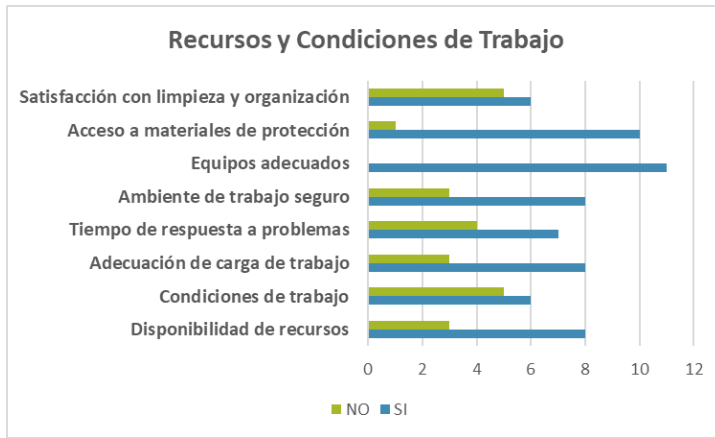
Para llevar a cabo esta etapa, se seleccionó a colaboradores de las diferentes áreas que están involucradas en los procesos desde el área de recepción de muestras y atención al cliente, el área de procesamiento de muestras, el área de análisis físicoquímicos y el área de revisión y liberación de resultados.

La metodología se basó en una conversación con preguntas abiertas y específicas, diseñadas para fomentar una conversación amplia y detallada que permita explorar los conocimientos, experiencias y puntos de vista de cada entrevistado en relación con su área de trabajo. Aspectos como la percepción sobre los tiempos de procesamiento, la carga de trabajo, los procedimientos actuales y cualquier sugerencia de mejora fueron abordados en las entrevistas, lo que facilitó una visión profunda y detallada de las prácticas operativas. Además, incluyo una encuesta para reflejar la visión de algunos aspectos como recursos y condiciones de trabajo o la distribución y organización de espacios, esta encuesta se realizó de manera anónima, donde se obtuvieron los siguientes resultados.



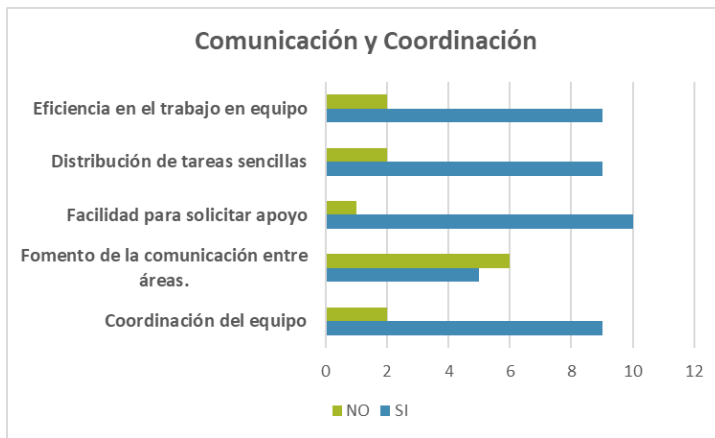
En el gráfico 3-1, se observan los resultados de la encuesta para la categoría conocimiento y capacitación, donde se destaca con mayor respuestas negativas información sobre cambios y capacitación periódica.

Gráfico 3-1: Resultados encuesta conocimiento & capacitación.



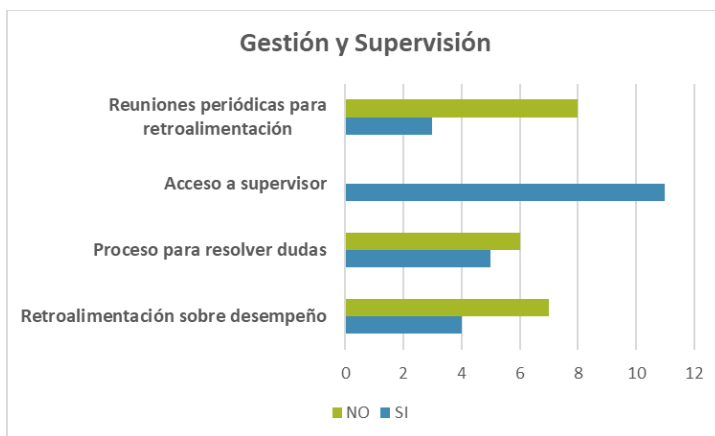
En el gráfico 3-2, se observan los resultados de la encuesta para la categoría recursos y condiciones de trabajo, donde se destaca con mayor respuestas positivas equipos adecuados y acceso a materiales de protección.

Gráfico 3-2: Resultados encuesta recursos y condiciones de trabajo.



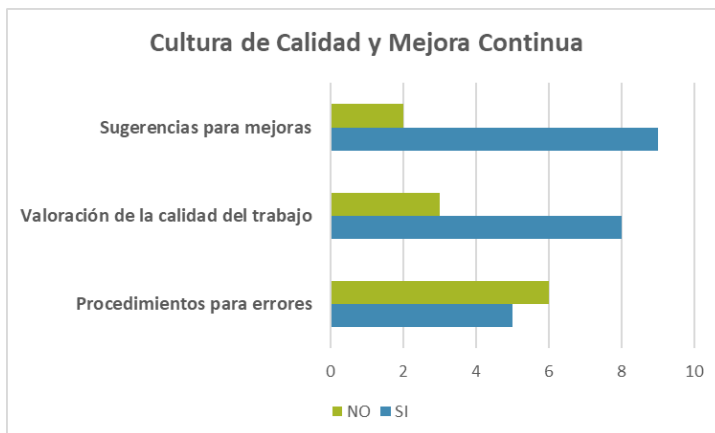
En el gráfico 3-3, se observan los resultados de la encuesta para la categoría comunicación y coordinación, donde se destaca con mayor respuestas positivas facilidad para solicitar apoyo y fomento de comunicación entre las negativas.

Gráfico 3-3: Resultados encuesta comunicación y coordinación.



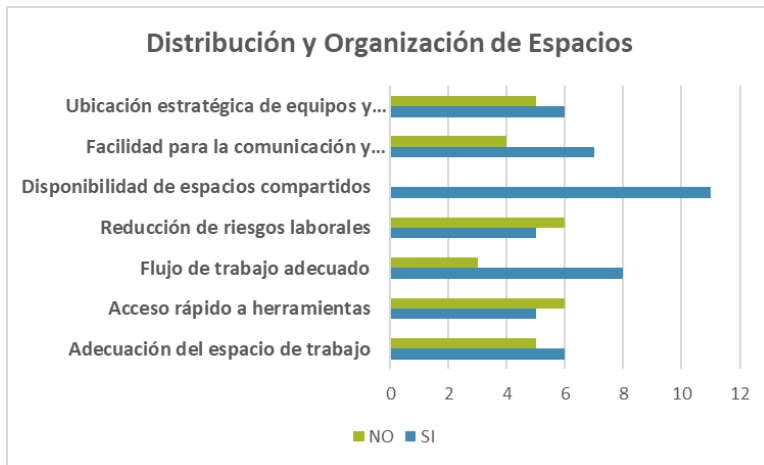
En el gráfico 3-4, se observan los resultados de la encuesta para la categoría gestión y supervisión, donde se destaca con mayor respuestas negativas reuniones periódicas para retroalimentar.

Gráfico 3-4: Resultados encuesta gestión y supervisión.



En el gráfico 3-5, se observan los resultados de la encuesta para la categoría cultura y mejora continua, donde se destaca con mayor respuestas negativas procedimientos para errores.

Gráfico 3-5: Resultados encuesta cultura y mejora.



En el gráfico 3-6, se observan los resultados de la encuesta para la categoría distribución y organización de espacios, en la se aprecia una equidad en las respuestas, lo que da a entender que se puede mejorar.

Gráfico 3-6: Resultados encuesta distribución y organización de espacios.

Los gráficos anteriores ayudan a tener una idea preliminar del estado del laboratorio.

3.1.4 Recolección y validación de datos.

La recolección de datos operativos de los distintos procesos dentro del laboratorio es una de las actividades más importante para la optimización de los procesos. Tiene la finalidad de obtener información tanto cualitativa, como cuantitativa que permita realizar un diagnóstico de los flujos de trabajo, los tiempos de procesamiento y los recursos de cada una de las actividades.

La información de los datos recopilados incluye los tiempos exactos de cada actividad realizada desde el ingreso de la muestra hasta la entrega final del informe al cliente, la cantidad de recursos utilizados, la carga de trabajo en las diferentes áreas y el personal involucrado para cada actividad. Estos datos se obtuvieron mediante la observación directa y en terreno de cada actividad.

Esta recolección de datos es una de las actividades más importantes dentro del proyecto, ya que además de permitir conocer los tiempos de los procesos, permitió conocer en detalle cada etapa en los procesos, como se realizan las actividades, compararlas con los procedimientos estándar y la información obtenida de las entrevistas que anteriormente se revisaron, dándonos una idea de cómo es el día a día de cada persona. También permitió detectar posibles cuellos de botella y actividades que no agregan valor que podrían estar afectando la productividad del laboratorio.

Otra de las cosas que permitió la recolección de datos, fue ver como los colaboradores se movilizaban por las distintas áreas del laboratorio para poder realizar sus actividades, ver directamente como debían afrontar la búsqueda de las muestras, la preparación de soluciones, el pesaje, la rotulación del material o la planificación de la

actividad a realizar. De esta forma se obtuvo un panorama más completo sobre las causas más relevantes de las ineficiencias.

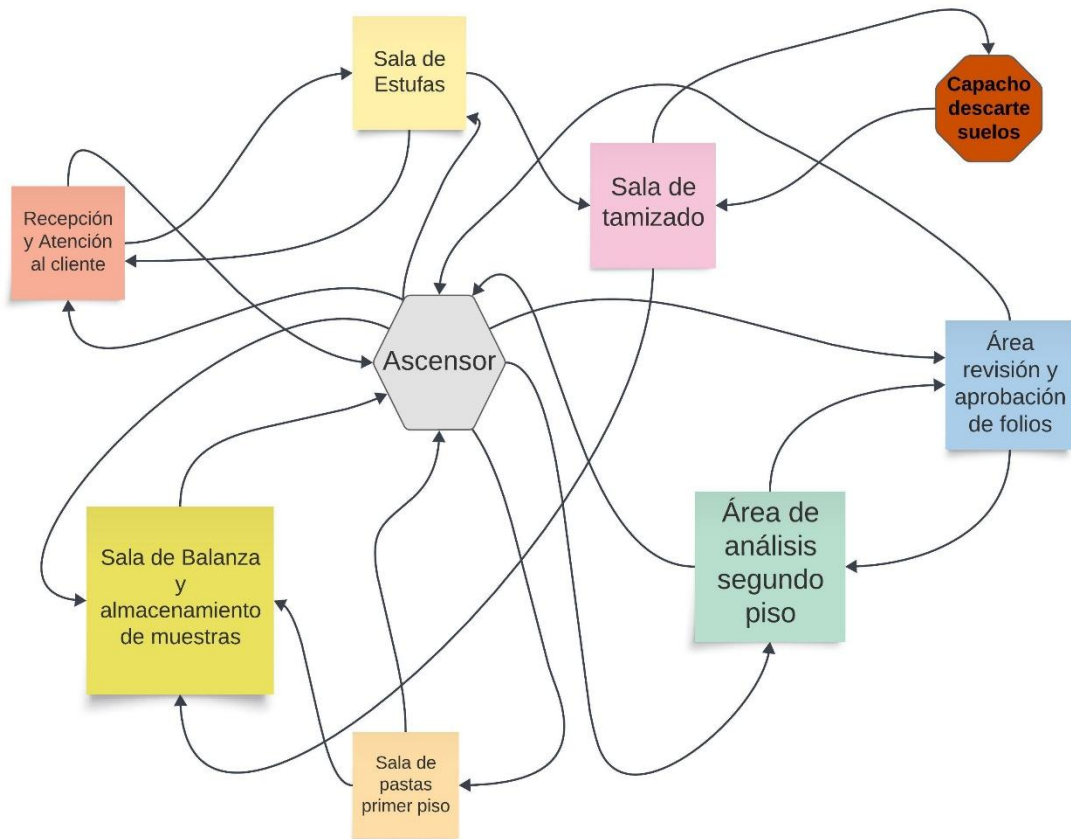


Ilustración 3-2: Diagrama Espaguete movimientos dentro del laboratorio.

En la ilustración 3-2, se observa como son los movimientos entre las diferentes áreas del laboratorio, donde se destaca como punto fundamental el ascensor para el traslado hacia los diferentes sectores del laboratorio.

El diagrama presentado tiene la función de mostrar cómo se trasladan a nivel general entre las diferentes zonas del laboratorio. Por ejemplo, para el procesamiento de muestras, las muestras llegan a la sala de estufas, luego que están secas van hacia la sala de tamizado, cuando están tamizadas, se llevan a la sala de balanza y almacenamiento de muestra y lo que sobro de las muestras se lleva desde la sala de tamizado al capacho de descarte.

La información obtenida de la recolección de datos servirá de base para las siguientes fases del proyecto, como el mapeo de flujos de trabajo, la identificación de ineficiencias y la formulación de propuestas de mejora. Asimismo, permitirá validar las hipótesis planteadas durante la fase inicial de observación y entrevistas, y proporcionar datos concretos para respaldar las decisiones estratégicas que se tomarán para optimizar los procesos operativos en el laboratorio.

Los datos obtenidos en esta etapa fueron los siguientes:

Recepción de muestra: Tenemos algunas situaciones que se dan a diario, la primera es cuando las muestras llegan con la orden de ingreso completa, en este caso el ingreso es más rápido, ya que solo se verifica la información de la orden de ingreso con la información que traen las muestras, si no hay ningún problema con la información se genera un folio y un número de laboratorio, este proceso tarda entre 5 a 10 minutos. Aquí hay factores que considerar como la cantidad de muestras a ingresar, ya que, si son muchas, el tiempo para ordenar y revisar es más prolongado, otro factor a considerar es la información de las muestras, cada muestra tiene un cuartel, una profundidad y otras características, que a veces no son tan legibles y eso retrasa el ingreso.

Otra situación que se da a diario es que las muestras llegan sin la orden de ingreso, en ese caso las muestras quedan en espera hasta que el cliente envíe la orden de ingreso, de ser así pueden pasar de 2 horas a 2 días sin ingresar la muestra.

La última de las situaciones es cuando llega el cliente directamente al laboratorio sin haber consultado previamente, en ese caso debe rellenar la orden de ingreso en el momento, esto puede tardar unos 15 a 40 minutos dependiendo de la cantidad de muestras que haya llevado.

Dentro de las limitantes que se presentan para un ingreso más fluido es la distribución de espacios, como está estructurada la recepción no permite ordenar una gran cantidad de muestras a la vez, lo que genera demoras en ese proceso, otra cosa es el manejo de las analíticas o que representa cada una de ellas, si bien hay una guía de análisis, no entienden realmente el significado de cada análisis, por ejemplo, ingresan al sistema una analítica CAS, pero el laboratorio no realiza esa analítica, ya que es un cálculo, que depende de un análisis en particular, lo que genera a su vez, un atraso en su realización.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Tiempo de ingreso por muestra: 5 a 10 minutos, si está completa la orden de ingreso.
- Personal: 1 secretaría administrativa, 1 practicante en época estival.
- Capacitación técnica para entender a qué se refiere cada análisis.
- Reestructuración de la recepción que permita una zona específica para ordenar las muestras.

Procesamiento de muestras: El procesamiento de muestras se divide en 2 etapas para que la muestra esté disponible para realizar los diferentes análisis solicitados por el cliente.

- Secado: La muestra ingresada con un folio y número de laboratorio se coloca en una bandeja y se le saca una foto, para tener evidencia de la información de la muestra, luego se ingresa a una estufa de aire forzado a 40 °C y se registra la fecha de ingreso en un libro, esta actividad tarda entre 3 a 10 minutos por muestra, las dificultades que tiene esta etapa son como llegue la muestra, ya sea con un alto contenido de piedras o con un alto contenido de agua, lo que dificulta la cantidad final de muestra que quedara para análisis, recordar que el laboratorio solicita 1.5 kg como mínimo, entonces muestras con exceso de piedras disminuyen esa cantidad entre 200gr a 700gr, lo que deja en vilo la realización de los análisis solicitados por el cliente, en este caso se solicita al cliente que envíe más muestra, lo que puede demorar el proceso 2 a 4 días, lo mismo pasa con muestras con un alto contenido de agua, que disminuyen la cantidad de muestra residual para análisis y se suma otro factor, una muestra con un alto contenido de agua demora más tiempo en secarse, si en promedio una muestra demora 48 horas en estar en condiciones de ser tamizada, una muestra con un alto contenido de agua puede demorar 4 o más días, aquí hay una oportunidad de mejora, ya que se podría generar un sistema que permita conocer o estimar en cuanto tiempo una muestra está en condiciones de ser tamizada.

El laboratorio cuenta con 3 estufas para esta etapa, lo que le permite una capacidad de 240 muestras, considerar que casi todos los días ingresan muestras al laboratorio, a veces de 1 muestra como de 100 o más por día.

Una vez que pasan las 48 horas, las muestras se consideran listas para ser tamizadas.

- Tamizado: La muestra proveniente de la etapa de secado es disgregada de forma manual en un mortero para luego ser tamizada por una malla de 2 milímetros de diámetro y trasvasijada a un frasco plástico previamente rotulado para llevarla a la zona de pesaje. El auxiliar demora entre 5 a 15 minutos por muestra, aquí depende la composición de la muestra, ya que existen diferentes tipos de suelos, aquí mencionaremos 3, que son los arenosos (muy fáciles de tamizar), francos (muestras habituales 7 a 10 minutos) y los arcillosos (sobre 10 minutos), los últimos son los suelos más difíciles de tamizar, ya que cuesta disgregar la muestra, ya que se forma como una roca al secarse y para obtener una cantidad considerable de muestra hay que repetir el proceso muchas veces. En esta etapa es cuando se puede determinar la cantidad de muestra que queda para los análisis, ya que se eliminan de la muestra las piedras y otros elementos como plásticos o ramas que contenga. Cuando queda poca muestra el auxiliar reporta al jefe de

laboratorio las muestras que tienen poca masa para que comunique a los analistas.

Una vez que las muestras son tamizadas, se les realiza control de humedad para liberarlas, si las muestras están sobre el límite permitido, se devuelven a la estufa hasta que cumplan con el criterio. Este proceso demora 3 horas, aquí hay otro punto que afecta el control de humedad, si las muestras contienen un alto nivel de sales o exceso de materia orgánica, cuesta llegar al parámetro, en este caso el auxiliar reporta al jefe de laboratorio para que tome la decisión.

Las muestras tamizadas y liberadas son registradas en un libro, luego esos datos se pasan a un archivo Excel para tener la información de manera digital.

Dentro de las limitantes observadas tenemos la distribución de espacios, el auxiliar solo puede ir sacando de la estufa de 11 muestras, eso significa que si tiene 150 muestras que tamizar, tiene que parar el proceso 13 veces, además, solo se cuenta con una estación de tamizado, por ende hay 1 auxiliar que si no hay otras matrices que procesar, queda en modo de espera, considerar que cuando hay muchas muestras que tamizar el proceso puede demorar hasta 2 días, sería importante poder contar con las muestras lo más temprano posible, para que los analistas puedan realizar sus análisis el mismo día y no tener que estar esperando hasta el día siguiente.

Al realizar el descarte de los remanentes de las muestras deben trasladarse una gran distancia desde su punto de tamizado, esto lo realizan cuando el recipiente está a la mitad de su capacidad, ya que, por el peso de este, es inviable trasladarlo a pulso.

Otro detalle importante es la cantidad de frascos disponibles, constantemente tienen que estar desocupando frascos de muestras antiguas por falta de material, aquí es importante mencionar que el laboratorio debe almacenar las muestras ingresadas 3 meses desde su fecha de ingreso según el protocolo. Entonces cuando en esos 3 meses llegan muchas muestras, tienen que estar desocupando frascos que no han cumplido los 3 meses de almacenamiento. Esta labor de desocupar frascos también toma un tiempo considerable, dependiendo de la cantidad de frascos a desocupar puede tomar 1 o 2 días.

También notamos que los auxiliares realizan el proceso de tamizado de diferentes formas, eso nos indica que el procedimiento no está estandarizado.

Los auxiliares tamizan los lunes, miércoles y viernes.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 3 estufas.
- Capacidad estufa: 240 muestras.
- Personal: 2 auxiliares.

- Tiempo ingreso a estufa: 3 a 10 minutos.
- Tiempo en estufa: 48 horas.
- Capacidad de tamizado: 80 muestras por jornada.
- Tiempo tamizado: 5 a 15 minutos por muestra.
- Estandarización del proceso de tamizado.
- Reestructuración del área de tamizado, que permita 2 estaciones de trabajo y reduzca los traslados.
- Adquisición de material de almacenaje.

Análisis Físicoquímicos: El laboratorio realiza diferentes tipos de análisis a las muestras de suelo, esto dependiendo de los requerimientos que solicite el cliente, habitualmente, están anclados a algún pack o combo analítico. La distribución de tareas para los analistas se realiza cada 2 meses, donde se hace una rotación entre los analistas, esta metodología se adoptó hace poco tiempo para que los analistas tengan una base analítica más amplia y evitar la sobre especialización, lo que genera tiempos variables en la realización de los análisis.

Un ejemplo de matriz es la siguiente:

Analista A1	Analista A2	Analista A3	Analista A4	Analista A5	Analista A6
pH & C.E Suspensión.	M. Orgánica.	N, NO ₃ , NH ₄ Disp.	Digestión.	Pastas.	Azufre Disp.
Fosforo Disp.	Hg & Se.	Textura.	Cat. Intercambio.	D. Aparente.	CIC.
	R. Humedad.	N & C Total.	Micronutrientes Disp.		B Disp.

Tabla 3-1: Matriz análisis de suelos por analistas.

En la tabla 3-1, se observan los diferentes de análisis de suelos que realiza el laboratorio y como es la distribución de los análisis por analistas.

A continuación, describiremos los análisis de suelo.

pH & C.E Suspensión: Este análisis es de los más solicitados en el laboratorio, consiste en masar una cantidad de muestra, agregar agua de osmosis, agitar por 5 minutos, dejar reposar 2 horas y leer en pHmetro.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Debido al tiempo del análisis, su capacidad es 80 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 60 a 120 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se acomodan los agitadores (10 unidades), se va a buscar agua de osmosis y se le agrega a las

primeras 25 muestras (1 bandeja), se colocan las primeras 10 y se agitan por 5 minutos, mientras se están agitando, se les agrega agua a las siguientes muestras, esto hasta que se completen los 5 minutos, se continua en esta secuencia hasta que todas las muestras se agitan, esto tarde alrededor de 60 a 70 minutos para la capacidad total. Se deja reposar 2 horas y en ese lapsus de tiempo, se calibran los equipos a utilizar, que son el pHmetro y el Conductivímetro, se registran los números que se analizaran en el libro y se prepara el espacio para leer. Cuando pasan las 2 horas se comienza a analizar, esta actividad varía entre 3.5 a 4.5 horas, después esos datos se pasan a un archivo Excel y se dejan disponibles para la revisión.

Para este proceso se requiere una sala a una temperatura de 22 °C, que habitualmente la utilizan otras personas, y aquí viene un punto de retraso, cuando hay otro análisis que requiere temperatura más fría, la persona que realiza pH debe buscar otra sala para realizar el análisis. Otro punto de retraso es que, si no se respetan los tiempos, el análisis no termina en la misma jornada y las muestras que no se alcanzaron a leer, se pierden y hay que hacer un reproceso, por ende, requiere una buena planificación. Este proceso esta estandarizado, todos los analistas siguen los mismos pasos.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 pHmetro, 1 Conductivímetro, 1 computador y 2 balanzas.
- Capacidad: 80 muestras.
- Personal: 1 analista
- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de masado: 60 a 120 minutos.
- Tiempo de agitación: 60 a 70 minutos.
- Tiempo de reposo (reacción): 120 minutos
- Tiempo de lectura: 210 a 270 minutos.
- Requiere una sala a temperatura de 22 °C.

Fosforo disponible: Este análisis es fundamental para determinar el estado de los suelos a nivel nutricional, consiste en masar una cantidad de muestra, agregar una cucharadita de carbón activo previamente lavado, solución de bicarbonato de sodio ajustado a pH 8.5 y agitar por 30 minutos, luego se filtra y se hace reaccionar para desarrollar color y cuantificar mediante un equipo UV-Visible.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Debido al tiempo del análisis, su

capacidad es de 90 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 90 a 130 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se empieza a preparar la solución de bicarbonato, esta tarea consiste en pesar el reactivo, trasvasijarlo a un matraz de aforo, agregar tres cuartas partes de agua de osmosis, tapar y colocar a agitar para que se disuelva, esta tarea si se realizara de forma manual tardaría entre 20 a 40 minutos, solo lo que es disolver el reactivo, dependiendo de la cantidad de solución a preparar. En este caso como se coloca a agitar en un equipo se puede realizar otra actividad del proceso, como es agregar carbón activo a las muestras, esto requiere entre 5 y 15 minutos dependiendo de la cantidad de muestras, una vez que se disuelve el reactivo se afora y se ajusta el pH a 8.5, esta tarea requiere 15 minutos. Una vez que la solución esta ajustada, se le agrega a los recipientes y se tapan, esta actividad toma alrededor de 10 a 25 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se colocan a agitar por 30 minutos, en este tiempo se prepara el espacio de trabajo para filtrar y consiste en rotular recipientes que receptaran el filtrado y se doblan los filtros, si es que no estuvieran previamente doblados. La tarea de doblar filtros toma alrededor de 25 a 50 minutos, dependiendo de la cantidad de filtros a doblar. Después que pasa el tiempo de agitación se procede a filtrar, siempre y cuando el aparataje de filtración este montado, esta tarea toma entre 10 a 20 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Se deja filtrando como mínimo 30 minutos y en este tiempo se rotulan los recipientes donde se hará la reacción para generar color y se prepara la solución que genera la reacción. Una vez filtrado se toma una alícuota de la muestra, esta tarea toma entre 5 a 25 minutos, dependiendo de la cantidad de muestra y se le agrega una cantidad de la solución para generar la reacción de color, esto demora entre 10 a 30 minutos y se deja reaccionar 1 hora para comenzar a leer, en esa hora se realizan las diluciones de las muestras que se salen y se ordenan las muestras en bandeja para ir a la sala de equipo a leerlas. La tarea de leer demora como mínimo 30 segundos por lectura, una vez finalizada la lectura, se imprime el reporte, se genera el reporte en Excel y se deja disponible para revisión.

Para este proceso la temperatura es fundamental, si no se respeta puede alterar la reacción y generar datos incorrectos, por eso se requiere una sala a una temperatura de 22 °C. El laboratorio cuenta con 3 equipos UV-Visible, pero el que se utiliza es el más lento, generando un tiempo de lectura de mínimo 75 minutos para una tanda de 120 muestras, siempre que se lea de manera secuencial, cuando la lectura termina cerca de finalizar la jornada laboral, el reporte Excel se genera al día siguiente. Este proceso no está estandarizado, se respeta las nociones básicas, pero dependiendo del analista que lo realice es el tiempo que se demorara, requiere una buena planificación, si no está la mayoría de los filtros doblados con antelación, todo el proceso se atrasa, si no hay solución base suficiente para generar la solución de reacción, se generan reprocesos porque no se pueden hacer reaccionar todas las muestras necesarias.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 agitador, 1 pHmetro, 1 UV-Visible, 1 balanza analítica y 1 computador.
- Capacidad: 90 muestras.
- Personal: 1 analista
- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de masado: 90 a 130 minutos.
- Tiempo de agitación: 30 minutos.
- Tiempo de filtrado: 30 minutos.
- Tiempo de reposo (reacción): 60 minutos.
- Tiempo de lectura: 30 segundos por lectura.
- Requiere una sala a temperatura de 22 °C.
- Requiere contar con filtros previamente doblados.
- Requiere tener carbón activado previamente lavado.
- Requiere tener solución base previamente preparada.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Materia orgánica: Este es otro de los análisis más solicitados al laboratorio, consiste en masar una cantidad de muestra, agregar solución de dicromato de sodio, ácido sulfúrico concentrado y agua, lo anterior genera un color que se cuantificar mediante un equipo UV-Visible.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Su capacidad máxima es de 250 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 230 a 280 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se prepara la solución de dicromato de sodio, que toma entre 15 a 25 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Una vez que la solución está preparada, se les adiciona a los recipientes, esta actividad toma alrededor de 30 a 50 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se llevan las muestras a una campana de extracción y se les agrega el ácido sulfúrico, esta actividad toma alrededor de 35 a 50 minutos, luego se deja reaccionar por 30 minutos, una vez que transcurrió ese tiempo se le agrega agua de osmosis y se agita, esta tarea toma alrededor de 30 a 45 minutos. Luego se llevan a la sala de equipos y se dejan decantar durante la noche y al día siguiente se leen. La tarea de leer demora entre 240 a 300 minutos, una vez finalizada la lectura, se imprime el reporte, se genera el reporte en Excel y se deja disponible para revisión.

Para este proceso la planificación es esencial, ya que los tiempos del proceso son extensos. Este es uno de esos procesos que requiere más de una jornada laboral para

completarse. El laboratorio cuenta con 3 equipos UV-Visible, el volumen de reacción es poco, por eso hay que tener mucho cuidado a la hora de leer, ya que se puede succionar suelo, lo que genera lecturas erróneas, además de estropear la celda del equipo. Este proceso no está estandarizado, se respeta las nociones básicas, pero dependiendo del analista que lo realice es el tiempo que se demorara. El laboratorio cuenta con 4 campanas de extracción, pero no están todas juntas, 2 están en salas independientes y 2 en el laboratorio central, lo que dificulta producir la reacción, sobre todo si las campanas están siendo utilizadas. Otra de las cosas que ocurren es al generar la reacción, puede ser que muestras tenga un exceso de materia orgánica, lo que genera una reacción violenta al agregar el ácido, cuando ocurre esto se pesa menos muestra, pero si con menos muestra aun produce una reacción violenta, se debe realizar por otro método, esto extiende el tiempo de proceso por lo menos en 2 días para algunas muestras. Para cargar los datos de materia orgánica, se requiere tener los datos de pH.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 campana, 1 UV-Visible, 1 balanza semi analítica y un computador.
- Capacidad: 220 muestras.
- Personal: 1 analista
- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de masado: 230 a 280 minutos.
- Tiempo de reacción: 65 a 100 minutos.
- Tiempo de reposo (reacción): 30 minutos.
- Tiempo adición agua: 30 a 45 minutos.
- Tiempo de reposo 2 (decantación): hasta el día siguiente.
- Tiempo de lectura: 240 a 300 minutos.
- Requiere contar con campanas disponibles.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Nitrógeno, Nitrato y Amonio disponible: Este análisis es fundamental para determinar el estado de los suelos a nivel nutricional, consiste en masar una cantidad de muestra, agregar cloruro de potasio, agitar por 60 minutos, luego se filtra, una vez obtenido el filtrado se destila y el condensado se titula con ácido sulfúrico.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Debido al tiempo del análisis, su capacidad máxima es de 110 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 60 a 80 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se prepara la solución de cloruro de potasio, esta tarea toma entre

10 a 25 minutos dependiendo de la cantidad de solución a preparar. Una vez que la solución está preparada, se le agrega a los recipientes y se tapan, esta actividad toma alrededor de 10 a 25 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se colocan a agitar por 60 minutos, en este tiempo se prepara el espacio de trabajo para filtrar y consiste en rotular recipientes que receptaran el filtrado y se doblan los filtros, si es que no estuvieran previamente doblados. La tarea de doblar filtros toma alrededor de 20 a 30 minutos, dependiendo de la cantidad de filtros a doblar. Después que pasa el tiempo de agitación se procede a filtrar, siempre y cuando el aparataje de filtración este montado, esta tarea toma entre 10 a 20 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Se deja filtrando como mínimo 20 minutos, luego se quitan los filtros, se ordenan los recipientes en bandejas y se trasladan al sector de destilación, esta etapa demora 20 a 25 minutos. Una vez en el sector de destilación se prepara el equipo para destilar, lavándolo 4 veces, este proceso de lavado consiste en destilar ácido clorhídrico 2 veces y destilar agua 2 veces. El proceso de lavado toma 25 minutos. Una vez que el equipo este lavado se procede a destilar las muestras, para destilar se toma una alícuota de muestra y se agrega al recipiente de destilación, se le agrega una cucharadita de óxido de magnesio y otra de Devarda. Y se coloca en el equipo para que inicie el programa de destilación, cada destilación demora 6 minutos. Una vez que termina el programa de destilación se saca el destilado y se coloca otra muestra. Una vez que se coloca a destilar la siguiente muestra, recién se titula la primera con ácido sulfúrico diluido, los datos de la titulación se van registrando en un libro, después esos datos se pasan a un archivo Excel y se dejan disponibles para la revisión.

Para este proceso la planificación es esencial, ya que los tiempos del proceso son extensos. Este es uno de esos procesos que requiere más de una jornada laboral para completarse. El laboratorio cuenta con 1 destilador, la cantidad de extracto que se obtiene al filtrar es muy relevante, ya que el análisis requiere una gran cantidad de ml. Es fundamental tener preparado con anterioridad el ácido sulfúrico diluido que se utilizara y el indicador, sin estas 2 soluciones no se puede destilar. Toda la descripción anterior es para el nitrógeno disponible, en el caso que se requiera nitrato y amonio disponible los tiempos de destilación son más extensos, ya que para 1 muestra se titula 2 veces, primero con oxido de magnesio y luego al mismo recipiente se le agrega el Devarda, dando un tiempo de destilación por muestra de 13 minutos, cuando hay muchas muestras que piden nitrato y amonio el analista puede destilar 2 o 3 días completos ya que para 23 muestras utiliza 5 horas. Este proceso no está estandarizado.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 agitador, 1 destilador, 1 computador y 1 balanza.
- Capacidad: 80 muestras.
- Personal: 1 analista
- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.

- Tiempo de masado: 60 a 80 minutos.
- Tiempo de agitación: 60 minutos.
- Tiempo de filtrado: 20 minutos.
- Tiempo lavado destilador: 25 minutos.
- Tiempo de destilación Nitrógeno disponible: 6 minutos por muestra.
- Tiempo de destilación Nitrato y Amonio disponible: 13 minutos por muestra.
- Requiere tener solución de ácido sulfúrico diluido previamente preparada.
- Requiere tener solución indicadora previamente preparada.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Cationes de intercambio: Este análisis es fundamental para determinar el estado de los suelos a nivel nutricional, consiste en masar una cantidad de muestra, agregar acetato de amonio a pH 7, agitar por 30 minutos, filtrar, una vez obtenido el filtrado se trasvasija a un tubo de ensayo y se cuantifica en un equipo ICP-OES.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Su capacidad máxima es de 140 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 120 a 150 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se prepara la solución de acetato de amonio, esta tarea toma entre 20 a 35 minutos dependiendo de la cantidad de solución a preparar. Una vez que la solución está preparada, se le agrega a los recipientes y se tapan, esta actividad toma alrededor de 20 a 30 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se colocan a agitar por 30 minutos, en este tiempo se prepara el espacio de trabajo para filtrar y consiste en rotular recipientes que receptaran el filtrado y se doblan los filtros, si es que no estuvieran previamente doblados. La tarea de doblar filtros toma alrededor de 20 a 30 minutos, dependiendo de la cantidad de filtros a doblar. Después que pasa el tiempo de agitación se procede a filtrar, siempre y cuando el aparataje de filtración este montado, esta tarea toma entre 30 a 45 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Se deja filtrando como mínimo 20 minutos, en ese tiempo se rotulan los tubos de ensayo, luego se quitan los filtros y se trasvasija el extracto a los tubos de ensayo, esta tarea toma entre 30 a 45 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se registran las muestras en el libro de la sala de ICP, se llevan a la sala del ICP y se dejan en el refrigerador hasta su lectura. Cuando se está leyendo las muestras y estas sobrepasan la concentración del punto máximo de la curva se realiza una dilución acorde al exceso de concentración y se coloca a la cola de la lectura. Una vez que se terminó la secuencia, se revisa que coincidan los números de los tubos de ensayos con la posición asignada de lectura, si esta todo bien, se genera un reporte en formato Excel y se deja disponible para su revisión.

Lectura en ICP.

Se debe prender el chilling del equipo, el extractor y dar el flujo de gas argón para que el equipo purgue, este proceso tarda alrededor de 7 minutos, una vez que el equipo esta purgado, se prende y se esperan 20 minutos para que el equipo se estabilice, se procede a seleccionar la hoja de lectura del método y se realiza la lista de lectura correspondiente, colocando agua en cada salto de número, además blancos y muestras de referencia interna cada 30 muestras. Este proceso se realiza cuando el equipo se está estabilizando, una vez que hayan transcurrido los 20 minutos, si el equipo no está calibrado, se calibra y si esta calibrado, se procede a la lectura del método con su respectiva curva de calibración. Cada tubo de ensayo leído demora alrededor de 1 minuto.

Este proceso requiere 2 personas para su realización, ya que 1 persona es la que realiza la extracción y otra persona es la que realiza la lectura en el equipo ICP. El laboratorio cuenta con 2 equipos ICP, que tienen asignados distintas lecturas. Para este proceso la planificación es esencial, ya que los tiempos de lecturas pueden ser extensos. Generalmente se espera tener otras extracciones para utilizar el equipo ICP. Este es uno de esos procesos que requiere más de una jornada laboral para completarse. Este proceso no está estandarizado.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 agitador, 1 pHmetro, 1 ICP-OES, 1 computador y 1 balanza.
- Capacidad: 140 muestras.
- Personal: 2 analistas.
- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de masado: 120 a 150 minutos.
- Tiempo de agitación: 30 minutos.
- Tiempo de trasvasije a recipientes: 30 a 45 minutos.
- Tiempo de filtrado: 20 minutos.
- Tiempo preparación de acetato de amonio pH 7: 20 a 25 minutos.
- Tiempo de doblado de filtros: 20 a 30 minutos.
- Tiempo de trasvasije a tubo de ensayo: 30 a 45 minutos.
- Requiere tener gas argón para operar equipo ICP.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Micronutrientes: Este análisis consiste en masar una cantidad de muestra, agregar solución DTPA a pH 7.3, agitar por 120 minutos, centrifugar por 5 minutos, filtrar, una vez obtenido el filtrado se trasvasija a un tubo de ensayo y se cuantifica en un equipo ICP-OES.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Su capacidad máxima es de 120 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 120 a 150 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se prepara la solución de DTPA a pH 7.3, esta tarea toma entre 20 a 35 minutos dependiendo de la cantidad de solución a preparar. Una vez que la solución está preparada, se le agrega a los recipientes y se tapan, esta actividad toma alrededor de 20 a 30 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se colocan a agitar por 120 minutos, en este tiempo se prepara el espacio de trabajo para filtrar y consiste en rotular recipientes que receptaran el filtrado y se doblan los filtros, si es que no estuvieran previamente doblados. La tarea de doblar filtros toma alrededor de 20 a 30 minutos, dependiendo de la cantidad de filtros a doblar. Después que pasa el tiempo de agitación se procede a centrifugar las muestras, se pueden centrifugar 24 muestras cada 5 minutos siempre que se hayan equilibrado los pesos previamente, una vez que se centrifugan se pueden filtrar, siempre y cuando el aparataje de filtración este montado, esta tarea toma entre 40 a 80 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Se deja filtrando como mínimo 30 minutos, en ese tiempo se rotulan los tubos de ensayo, luego se quitan los filtros y se trasvasija el extracto a los tubos de ensayo, esta tarea toma entre 30 a 45 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se registran las muestras en el libro de la sala de ICP, se llevan a la sala del ICP y se dejan en el refrigerador hasta su lectura. Cuando se está leyendo las muestras y estas sobrepasan la concentración del punto máximo de la curva se realiza una dilución acorde al exceso de concentración y se coloca a la cola de la lectura. Una vez que se terminó la secuencia, se revisa que coincidan los números de los tubos de ensayos con la posición asignada de lectura, si esta todo bien, se genera un reporte en formato Excel y se deja disponible para su revisión.

Lectura en ICP.

Se debe prender el chilling del equipo, el extractor y dar el flujo de gas argón para que el equipo purgue, este proceso tarda alrededor de 7 minutos, una vez que el equipo esta purgado, se prende y se esperan 20 minutos para que el equipo se estabilice, se procede a seleccionar la hoja de lectura del método y se realiza la lista de lectura correspondiente, colocando agua en cada salto de número, además blancos y muestras de referencia interna cada 30 muestras. Este proceso se realiza cuando el equipo se está estabilizando, una vez que hayan transcurrido los 20 minutos, si el equipo no está calibrado, se calibra y si esta calibrado, se procede a la lectura del método con su respectiva curva de calibración. Cada tubo de ensayo leído demora alrededor de 1 minuto.

Este proceso requiere 2 personas para su realización, ya que 1 persona es la que realiza la extracción y otra persona es la que realiza la lectura en el equipo ICP. El laboratorio cuenta con 2 equipos ICP, que tienen asignados distintas lecturas. Para este proceso la planificación es esencial, ya que los tiempos de lecturas pueden ser extensos. Generalmente se espera tener otras extracciones para utilizar el equipo ICP. Este es uno de esos procesos que requiere más de una jornada laboral para completarse. Este proceso no está estandarizado.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 agitador, 1 centrifuga, 1 pHmetro, 1 ICP-OES, 1 computador y 1 balanza.
- Capacidad: 120 muestras.
- Personal: 2 analistas.
- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de masado: 120 a 150 minutos.
- Tiempo de agitación: 120 minutos.
- Tiempo de centrifugado: 5 minutos.
- Tiempo de trasvasije a recipientes: 40 a 80 minutos.
- Tiempo de filtrado: 30 minutos.
- Tiempo preparación DTPA a pH 7.3: 20 a 35 minutos.
- Tiempo de doblado de filtros: 20 a 30 minutos.
- Tiempo de trasvasije a tubo de ensayo: 30 a 45 minutos.
- Requiere tener gas argón para operar equipo ICP.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Boro disponible: Este análisis consiste en masar una cantidad de muestra, agregar solución cloruro de calcio, calentar hasta ebullición y dejar ebullicir por 10 minutos, enfriar y filtrar, una vez obtenido el filtrado se trasvasija a un tubo de ensayo y se cuantifica en un equipo ICP-OES.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Su capacidad máxima es de 80 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 60 a 120 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se prepara la solución de cloruro de calcio, esta tarea toma entre 10 a 20 minutos dependiendo de la cantidad de solución a preparar. Se prepara el aparataje de filtración, esto puede demorar 20 a 40 minutos, dependiendo de si están los filtros doblados. Una vez que el aparataje de filtración y la solución está preparada, se trasvasijan las muestras a balones de ebullición, se le agrega la solución y se colocan en una plancha calefactora, esta actividad toma alrededor de 20 a 30 minutos por tanda de 8 muestras. Luego se

enfrian por 5 minutos en una bandeja con agua, mientras están en ese proceso, se coloca las siguientes muestras, cuando estén frías se filtran, el filtrado puede demorar entre 20 a 40 minutos. La tarea de doblar filtros toma alrededor de 20 a 30 minutos, dependiendo de la cantidad de filtros a doblar. En los tiempos de espera de ebullición se rotulan los tubos de ensayo, una vez que ya están filtradas las muestras se quitan los filtros y se trasvasija el extracto a los tubos de ensayo, esta tarea toma entre 30 a 45 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se registran las muestras en el libro de la sala de ICP, se llevan a la sala del ICP y se dejan en el refrigerador hasta su lectura. Cuando se está leyendo las muestras y estas sobrepasan la concentración del punto máximo de la curva se realiza una dilución acorde al exceso de concentración y se coloca a la cola de la lectura. Una vez que se terminó la secuencia, se revisa que coincidan los números de los tubos de ensayos con la posición asignada de lectura, si esta todo bien, se genera un reporte en formato Excel y se deja disponible para su revisión.

Lectura en ICP.

Se debe prender el chilling del equipo, el extractor y dar el flujo de gas argón para que el equipo purgue, este proceso tarda alrededor de 7 minutos, una vez que el equipo esta purgado, se prende y se esperan 20 minutos para que el equipo se estabilice, se procede a seleccionar la hoja de lectura del método y se realiza la lista de lectura correspondiente, colocando agua en cada salto de número, además blancos y muestras de referencia interna cada 30 muestras. Este proceso se realiza cuando el equipo se está estabilizando, una vez que hayan transcurrido los 20 minutos, si el equipo no está calibrado, se calibra y si esta calibrado, se procede a la lectura del método con su respectiva curva de calibración. Cada tubo de ensayo leído demora alrededor de 1 minuto.

Este proceso requiere 2 personas para su realización, ya que 1 persona es la que realiza la extracción y otra persona es la que realiza la lectura en el equipo ICP. El laboratorio cuenta con 2 equipos ICP, que tienen asignados distintas lecturas. Para este proceso la planificación es esencial, ya que los tiempos de lecturas pueden ser extensos. Generalmente se espera tener otras extracciones para utilizar el equipo ICP. Este es uno de esos procesos que requiere más de una jornada laboral para completarse. Este proceso no está estandarizado.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 agitador, 1 plancha calefactora, 1 ICP-OES, 1 computador y 1 balanza.
- Capacidad: 80 muestras.
- Personal: 2 analistas.

- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de masado: 60 a 120 minutos.
- Tiempo de ebullición: 10 minutos.
- Tiempo de enfriado: 5 minutos.
- Tiempo de filtrado: 20 a 40 minutos.
- Tiempo preparación cloruro de calcio: 10 a 20 minutos.
- Tiempo de doblado de filtros: 20 a 30 minutos.
- Tiempo de trasvasije a tubo de ensayo: 30 a 45 minutos.
- Requiere tener gas argón para operar equipo ICP.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Azufre extractable: Este análisis es desafiante, consiste en masar una cantidad de muestra, agregar una cucharadita de carbón activo, solución de dihidrógeno fosfato de calcio y agitar por 30 minutos, luego se filtra y se hace reaccionar para desarrollar turbidez y cuantificar mediante un equipo UV-Visible.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Debido al tiempo del análisis, su capacidad máxima es de 80 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 90 a 130 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se prepara la solución de dihidrógeno fosfato de calcio, que toma entre 5 a 15 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Se agrega una cucharada de carbón activo a las muestras, esta tarea toma entre 5 a 15 minutos, dependiendo de la cantidad de muestras. Una vez que las muestras tienen carbón activo y la solución está preparada, se les adiciona a los recipientes y se tapan, esta actividad toma alrededor de 10 a 25 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se colocan a agitar por 30 minutos, en este tiempo se prepara el espacio de trabajo para filtrar y consiste en rotular recipientes que receptaran el filtrado y se doblan los filtros, si es que no estuvieran previamente doblados. La tarea de doblar filtros toma alrededor de 25 a 50 minutos, dependiendo de la cantidad de filtros a doblar. Después que pasa el tiempo de agitación se procede a filtrar, siempre y cuando el aparataje de filtración este montado, esta tarea toma entre 10 a 20 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Se deja filtrando como mínimo 60 minutos y en este tiempo se rotulan los recipientes donde se hará la reacción para generar turbidez. Una vez filtrado se toma una alícuota de la muestra, esta tarea toma entre 25 a 50 minutos, dependiendo de la cantidad de muestra y se le agrega una alícuota de solución precipitante, esto demora entre 10 a 30 minutos, se revisa si hay muestras que exceden el punto máximo de la curva, de ser así se realizan diluciones, cada dilución puede demorar 1 minuto, se tapan los recipientes, se agitan y se dejan reposar por 20 minutos, luego se vuelven a agitar y se dejan reposar por 10 minutos, las muestras se llevan a la sala de equipo a leerlas. La tarea de leer demora entre 60 a 80 minutos, una vez finalizada la lectura, se imprime el reporte, se genera el reporte en Excel y se deja disponible para revisión.

Para este proceso la planificación es esencial, ya que los tiempos de filtrado son prolongados, eso de mínimo 1 hora es para obtener volumen suficiente para tomar la alícuota necesaria para generar la reacción, por ende, contra más tarde se empiece a filtrar más tarde se terminará el análisis. El laboratorio cuenta con 3 equipos UV-Visible, el volumen de reacción es poco, por eso hay que tener mucho cuidado a la hora de leer, ya que se puede acabar la muestra y se empieza a succionar aire, generando lecturas erróneas, lo mismo pasa si no queda bien puesta la cánula del zóper, cuando la lectura termina cerca de finalizar la jornada laboral, el reporte Excel se genera al día siguiente. Este proceso no está estandarizado, se respeta las nociones básicas, pero dependiendo del analista que lo realice es el tiempo que se demorara, si no está la mayoría de los filtros doblados con antelación, todo el proceso se atrasa, si no hay solución precipitante suficiente para generar la reacción, se generan reprocesos porque no se pueden hacer reaccionar todas las muestras necesarias.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 agitador, 1 UV-Visible, 1 balanza y 1 computador.
- Capacidad: 80 muestras.
- Personal: 1 analista
- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de masado: 90 a 130 minutos.
- Tiempo de agitación: 30.
- Tiempo de filtrado: 60 minutos.
- Tiempo de reposo (reacción): 30 minutos.
- Tiempo de lectura: 60 a 80 minutos.
- Requiere contar con filtros previamente doblados.
- Requiere tener solución precipitante previamente preparada.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Digestión: Este análisis consiste en la determinación de metales totales en una muestra de suelo a partir de una digestión con una mezcla de ácido nítrico concentrado y ácido clorhídrico concentrado a 180 °C.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Aquí no se utilizan las balanzas, solo se agrega muestra que previamente se tamiza por una malla de 75 micrones a los recipientes, entre 4 a 10 gramos aproximadamente, esta actividad tarda entre 30 a 60 minutos, dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se va hacia la sala de balanzas del segundo piso y se pesan 2 gramos en unos recipientes de teflón especiales para la digestión. Esta tarea tarda entre 60 a 80 minutos. La capacidad de

este análisis son 80 muestras, que es la cantidad de material disponible para este análisis. Luego de pesar las muestras, se va hacia la sala inicial y con mucha precaución, utilizando todos los implementos de seguridad necesarios y bajo campana de extracción, se agrega una cantidad de ácido nítrico concentrado y otra cantidad de ácido clorhídrico, se tapa y se deja en predigestión hasta el otro día, esta tarea demora entre 20 a 30 minutos. Una vez transcurrido ese tiempo, se despicha los gases producidos y se vuelven a tapar, esta tarea demora entre 10 a 20 minutos dependiendo de la cantidad de muestras, luego se colocan en el carrusel del equipo, este carrusel tiene una capacidad de 40 posiciones, se elige el programa de digestión y se da inicio, este programa tarda 65 minutos en completarse, luego de eso se espera 20 minutos para que se enfríen las muestras y se abren con mucho cuidado, despichando lentamente para que no se suban las muestras, esta tarea tarda entre 20 a 30 minutos dependiendo de la cantidad de muestras y la cantidad de materia orgánica que tuvieran las muestras, contra más materia orgánica, más gases se producen y más tiempo se demora en despichar las muestras. Una vez que están todas las muestras destapadas, se trasvasija su contenido a matraces de aforo con ayuda de un embudo de vidrio y se aforan, esta tarea demora entre 40 a 80 minutos dependiendo de la cantidad de muestras que hubiera en el carrusel. Después que están todos los matraces aforados se agitan y se filtran, el extracto obtenido se trasvasija a 2 tipos de tubos de ensayo, uno que va para lectura a ICP-OES y otro que queda para realizar el análisis de mercurio y selenio, esta tarea demora entre 60 a 80 minutos. Luego se registran las muestras en el libro de la sala de ICP, se llevan a la sala del ICP y se dejan en el refrigerador hasta su lectura. Cuando se está leyendo las muestras y estas sobrepasan la concentración del punto máximo de la curva se realiza una dilución acorde al exceso de concentración y se coloca a la cola de la lectura. Una vez que se terminó la secuencia, se revisa que coincidan los números de los tubos de ensayos con la posición asignada de lectura, si esta todo bien, se genera un reporte en formato Excel y se deja disponible para su revisión.

Lectura en ICP.

Se debe prender el chilling del equipo, el extractor y dar el flujo de gas argón para que el equipo purgue, este proceso tarda alrededor de 7 minutos, una vez que el equipo esta purgado, se prende y se esperan 20 minutos para que el equipo se estabilice, se procede a seleccionar la hoja de lectura del método y se realiza la lista de lectura correspondiente, colocando agua en cada salto de número, además blancos y muestras de referencia interna cada 30 muestras. Este proceso se realiza cuando el equipo se está estabilizando, una vez que hayan transcurrido los 20 minutos, si el equipo no está calibrado, se calibra y si esta calibrado, se procede a la lectura del método con su respectiva curva de calibración. Cada tubo de ensayo leído demora alrededor de 1 minuto.

Para este proceso al contar con varias etapas es fundamental la planificación, la etapa de tamizaje es clave para iniciar el proceso, si bien dependiendo del tipo de muestra

se vuelve más lenta, generalmente avanza a un ritmo constante, tener los vasos de digestión en condiciones ideales es de mucha importancia, si las tapas o los vasos están desgastados, puede generar que las muestras se sequen al colocarlas en el digestor, lo que generaría reprocesos al tener que realizar nuevamente las muestras, otra cosa importante es cerrar adecuadamente los vasos, para esto hay una llave especial con la cual se realiza esta tarea, para no dejarlo a criterio del usuario, si quedan mal cerrados las muestras no llegaran a la temperatura necesaria y el equipo entregara más energía para poder llegar a la temperatura lo que generaría que las muestras se evaporaran, por eso es fundamental los primeros 25 minutos del programa de digestión en donde se indica como va subiendo la temperatura. Al trabajar con ácidos concentrados esto se debe llevar a cabo siempre bajo campana y con elementos de protección personal. Otra cosa que puede ocurrir es perder el orden de las muestras, ya que los vasos no se pueden marcar y solo se puede guiar por la posición de las gradillas, por eso el registro inicial que se realiza indicando número de posición y numero de laboratorio es la guía de todo el análisis.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 balanza analítica, 1 campana de extracción, 1 digestor de microondas, 1 ICP-OES y 1 computador.
- Capacidad: 65 muestras.
- Capacidad digestor de microondas: 40 muestras.
- Personal: 2 analista
- Tiempo de rotulado: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de preparación de muestras: 30 a 60 minutos.
- Tiempo de pesado: 60 a 80 minutos.
- Tiempo de adición de ácidos: 20 a 30 minutos.
- Tiempo de predigestión: hasta el otro día.
- Tiempo de despiche predigestión: 10 a 20 minutos.
- Tiempo de digestión: 65 minutos.
- Tiempo de enfriamiento: 20 minutos.
- Tiempo despiche digestión: 20 a 30 minutos.
- Tiempo de trasvasije matraz aforo: 40 a 80 minutos.
- Tiempo de filtrado y trasvasije a tubos de ensayo: 60 a 80 minutos.
- Tiempo de lectura: 2 minutos por muestra.
- Requiere un tamiz de malla 75 micrones.
- Requiere contar con filtros previamente doblados.
- Requiere tener gas argón para operar equipo ICP-OES.
- Requiere vasos de digestión especiales para el equipo de digestión.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Mercurio & Selenio: Para realiza este proceso, primero se debe realizar el proceso de digestión, consiste en tomar una cantidad de extracto de la digestión y agregarle ácido clorhídrico al 30 por ciento, para luego hacerlo reaccionar en un generador de

hidruros con borohidruro de sodio en medio ácido y cuantificarlo en un equipo de absorción atómica.

Todo parte en la sala de digestión bajo campana, con la preparación del ácido clorhídrico al 30 por ciento, esta tarea demora entre 10 a 20 minutos dependiendo de la cantidad de muestras, luego se prepara la curva de mercurio y de selenio, esta tarea demora 10 minutos. Luego se rotula los recipientes con su respectivo número de laboratorio para realizar la acidificación, actividad que toma entre 10 a 15 minutos. Una vez que se tiene el ácido clorhídrico, la curva preparadas y el material rotulado, se toma la alícuota correspondiente, tanto para el análisis de mercurio y el análisis de selenio, esta tarea demora entre 40 a 60 minutos, dependiendo de la cantidad de muestras. En el caso del análisis de mercurio luego de tomar la alícuota se le agrega una cantidad establecida de ácido clorhídrico al 30 por ciento y se tapa, para el análisis de selenio, se agrega una cantidad de ácido clorhídrico y luego se calienta a baño maría por 60 minutos, cuando pasa este tiempo, se completa el volumen final con ácido clorhídrico al 30 por ciento. Cuando las 2 preparaciones están listas, se procede a preparar la solución de borohidruro de sodio, la que demora 10 minutos. Luego se llevan las muestras de mercurio a la sala de equipos y las de selenio se dejan refrigeradas, se optimiza el equipo de absorción atómica y se deja operativo el generador de hidruro para comenzar las lecturas. Cuando se está leyendo las muestras y estas sobrepasan la concentración del punto máximo de la curva se realiza una dilución acorde al exceso de concentración y se coloca a la cola de la lectura. Una vez que se terminó la secuencia, se revisa que coincidan los números de los tubos de ensayos con la posición asignada de lectura, si esta todo bien, se genera un reporte en formato Excel y se deja disponible para su revisión. Luego se repite el mismo procedimiento para el análisis de mercurio.

Lectura en Absorción Atómica.

Se debe prender el equipo, el extractor y dar el flujo de gas argón y aire para que el equipo purgue, este proceso tarda alrededor de 7 minutos, una vez que el equipo esta purgado, se prende la llama y se esperan 20 minutos para que el equipo se estabilice, se procede a seleccionar la hoja de lectura del método y se realiza la lista de lectura correspondiente, colocando agua en cada salto de número, además blancos y muestras de referencia interna cada 20 muestras. Este proceso se realiza cuando el equipo se está estabilizando, una vez que hayan transcurrido los 20 minutos, si el equipo no está calibrado, se calibra y si esta calibrado, se procede a la lectura del método con su respectiva curva de calibración. Cada tubo de ensayo leído demora alrededor de 1 minuto.

Para este proceso, al depender de uno anterior, se debe planificar, ya que la etapa anterior tiende a demorar 2 días, la preparación del análisis demora alrededor de medio día, lo que deja medio día disponible para realizar las lecturas del mercurio y

al día siguiente las lecturas del selenio, esto siempre y cuando el equipo se comporte de buena manera, si no es el caso, se puede perder ese medio día inicial solamente en estabilizar las lecturas, lo que retrasa todo el proceso, por lo mismo, se tienen lecturas de estándares más seguidos que en otros análisis y recalibraciones constantes si es que los estándares están muy alejados del valor declarado. Si con las recalibraciones no se llega al valor declarado, se deja descansar el equipo y se intenta al día siguiente, ya que las pruebas y recalibraciones se consumen las muestras que se hicieron reaccionar y los reactivos para generar los hidruros.

Como resumen del proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 campana de extracción, 1 refrigerador, 1 plancha calefactora, 1 generador de hidruro, 1 Absorción Atómica, 1 balanza y 1 computador.
- Capacidad preparación: 70 muestras por análisis.
- Personal: 1 analista.
- Tiempo de rotulación: 10 a 15 minutos.
- Tiempo preparación ácido clorhídrico al 30 por ciento: 10 a 20 minutos.
- Tiempo de preparación de curva: 10 minutos.
- Tiempo de toma de alícuota: 40 a 60 minutos.
- Tiempo de baño maría: 60 minutos.
- Tiempo de preparación borohidruro de sodio: 10 minutos.
- Tiempo de lectura: 1 minuto por muestra.
- Requiere tener gas argón para operar absorción atómica.
- Requiere tener aire comprimido para operar absorción atómica.
- Requiere tener acetileno para operar absorción atómica.
- Requiere tener solución de borohidruro de sodio para generar reacción en el generador de hidruros.
- Requiere tener solución de ácido clorhídrico al 30 por ciento para generar reacción en generador de hidruros.
- Requiere tener una sala a 18 °C.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Pastas de saturación: Este análisis es uno de los más largos, ya que depende de que le pidan a las pastas de saturación, consiste en preparar un barro que tenga la consistencia de un chocolate derretido, el cual se deja reposar hasta el día siguiente, luego se extrae al agua de ese barro mediante un aparataje de filtración al vacío y el extracto obtenido se deja en un recipiente previamente rotulado, luego se lee la conductividad eléctrica del extracto y dependiendo de la analítica solicitada, se realizan los aniones solubles o se trasvasija a un tubo de ensayo para su lectura en ICP y poder determinar los cationes solubles.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Aquí no se utilizan las balanzas, solo se agrega muestra a los recipientes, entre 350 a 400 gramos aproximadamente, lo que equivale a tres cuartas partes del recipiente, esta actividad tarda entre 30 a 60 minutos, dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se vuelve a la sala inicial y se le agregan 50 ml de agua de osmosis a la muestra, esto para que se humedezcan los suelos y sea más fácil su preparación y evitar pasarse del punto por exceso de agua. Luego con un mezclador automático se empieza a mezclar el suelo con agua y se le agrega agua de a poco para ir haciendo la mezcla más líquida, cuando está casi lista, se utiliza una espátula para darle el punto final, este punto final consiste en que la mezcla se deslice por las paredes del recipiente, se corte con la espátula y en su superficie brille, esto tarda entre 5 a 15 minutos por muestra. La capacidad máxima es de 64 muestras. Una vez que están listas las muestras, se dejan en un refrigerador o vitrina hasta el día siguiente. Al día siguiente se arma el aparataje de filtración que consiste en un matraz Kitasato y un embudo Büchner con un filtro de papel, el aparataje de filtración tiene 12 posiciones, cuando esté listo el aparataje se le agrega la muestra previamente reconstituida, ya que al pasar tiempo de reposo se separan las fases y se filtra al vacío. Cada muestra puede demorar en filtrar entre 10 a 60 minutos, dependiendo del tipo de muestra. Cuando esta filtrada se trasvasija a un recipiente previamente rotulado y se tapa, para proceder a lavar el material y volver a utilizarlo, se cuenta con 24 juegos de filtrado. Una vez que están todas las muestras filtradas, se guardan en un refrigerador o vitrina hasta el día siguiente, donde se procede a leer la conductividad eléctrica del filtrado, estos datos se registran en un libro y después se genera un archivo Excel para su revisión, esta tarea demora entre 4 a 5 minutos por muestra. Cuando ya están todas las muestras leídas y dependiendo de la analítica solicitada, se trasvasijan a tubos de ensayo para leer en ICP los cationes solubles previamente filtrados a través de pirinolas. Cuando se está leyendo las muestras y estas sobrepasan la concentración del punto máximo de la curva se realiza una dilución acorde al exceso de concentración y se coloca a la cola de la lectura. Una vez que se terminó la secuencia, se revisa que coincidan los números de los tubos de ensayos con la posición asignada de lectura, si está todo bien, se genera un reporte en formato Excel y se deja disponible para su revisión. En paralelo se realizan los aniones solubles, los cuales son cloruros mediante titulación con nitrato de plata, bicarbonatos mediante titulación con ácido sulfúrico y sulfatos mediante cuantificación de turbidez con cloruro de bario en equipo UV-Visible.

El tiempo para realizar los aniones solubles depende de la cantidad de muestras, para un cloruro va entre 2 a 8 minutos, lo mismo para los bicarbonatos, y esto se debe a la concentración que tengan las muestras para cada uno de esos aniones. Los valores obtenidos son registrados en un libro y cuando están todos, se genera un archivo Excel y se deja disponible para su revisión.

En el caso de los sulfatos se realiza una turbidimetría, la cual requiere unos establecidos que son de 15 minutos de reacción antes de leer y para la preparación dependerá de la cantidad de muestras y la concentración que tengan, ya que si se salen del punto máximo de la curva hay que diluir las muestras, pero generalmente va desde 30 a 60 minutos y la lectura dependiendo del equipo va desde 60 a 80 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Una vez terminado el análisis se genera un archivo Excel y se deja disponible para su revisión.

Lectura en ICP.

Se debe prender el chilling del equipo, el extractor y dar el flujo de gas argón para que el equipo purgue, este proceso tarda alrededor de 7 minutos, una vez que el equipo esta purgado, se prende y se esperan 20 minutos para que el equipo se estabilice, se procede a seleccionar la hoja de lectura del método y se realiza la lista de lectura correspondiente, colocando agua en cada salto de número, además blancos y muestras de referencia interna cada 30 muestras. Este proceso se realiza cuando el equipo se está estabilizando, una vez que hayan transcurrido los 20 minutos, si el equipo no está calibrado, se calibra y si esta calibrado, se procede a la lectura del método con su respectiva curva de calibración. Cada tubo de ensayo leído demora alrededor de 1 minuto.

Para este proceso al ser varias etapas para completarse requiere una extraordinaria planificación, la preparación de las pastas dependerá del tipo de muestra, ya que una muestra arenosa tiene un punto diferente de una arcillosa, generalmente las arenosas son las que menos tiempo de preparación requieren y las arcillosas las que más tiempo demoran y son más difíciles de tratar, ya que generan grumos al adicionar agua. En el caso de la etapa de filtración ocurre lo mismo, las muestras arenosas son las primeras en filtrarse y las arcillosas son las ultimas además que suelen dar poco extracto, por lo mismo se suele dividir una muestra en dos aparatajes de filtración para tratar de obtener una cantidad suficiente de extracto para realizar las siguientes etapas. En el caso de trasvasijar las muestras a tubos de ensayo es fundamental pasarlas a través de pirinolas para no tapar el nebulizador del ICP, esto pasa porque los embudos Büchner no son planos lo que genera aperturas por donde pasa suelo. Generalmente un día se prepara, otro día se filtra, otro día se lee la conductividad eléctrica y en otro día se pasan los tubos al ICP y se realizan los aniones.

Como resumen del proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 mezclador automático, 1 refrigerador, 1 bomba de vacío, 1 UV-Visible, 1 ICP-OES, 1 Conductivímetro y 1 computador.
- Capacidad preparación: 64 muestras.
- Capacidad de extracción: 12 muestras por tanda.

- Personal: 2 analista.
- Tiempo de rotulación: 10 a 15 minutos.
- Tiempo para buscar las muestras: 30 a 60 minutos
- Tiempo de preparación de pasta: 5 a 15 minutos por muestra.
- Tiempo de lectura conductividad eléctrica: 4 a 5 minutos por muestra.
- Tiempo para realizar cloruros: 2 a 8 minutos por muestra.
- Tiempo para realizar bicarbonatos: 2 a 8 minutos por muestra.
- Tiempo de reacción sulfatos: 15 minutos.
- Tiempo de lectura sulfatos: 30 a 60 minutos.
- Requiere tener mezclador automático.
- Requiere tener un refrigerador para guardar las muestras.
- Requiere tener una bomba de vacío para realizar la extracción.
- Requiere tener gas argón para operar ICP-OES.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Nitrógeno & Carbono total: Este análisis debe ser el que menos intervención tiene, consiste en pesar una cantidad de muestra sobre un recipiente especial, luego se forman unos pequeños paquetitos y se colocan en el analizador elemental para su cuantificación.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Aquí no se utilizan las balanzas, solo se agrega muestra a los recipientes, entre 5 a 10 gramos aproximadamente, esta actividad tarda entre 15 a 30 minutos, dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se vuelve a la sala inicial en donde se blanquea el analizador elemental, esto consiste en analizar blancos, generalmente se realizan 5 blancos, mientras se blanquea el equipo, se genera la lista de análisis y se procede a pesar las muestras en la balanza asociada al equipo, esto se realiza sobre unos papeles de níquel con los cuales se forman pequeños óvalos, los cuales se cargan en el carrusel del equipo que tiene una capacidad para 20 muestras. Cada muestra tarda 5 minutos en analizarse, una vez cargado el carrusel, se inicia la secuencia y mientras está analizándose siguen pesando las demás muestras que se pretenden analizar, las cuales se pueden ir cargando a medida que se vaya vaciando el carrusel. Una vez finalizado el análisis, se genera un archivo Excel con los datos y se deja disponible para su revisión.

Para este proceso la planificación es fundamental, es trascendental que el analizador elemental este en las mejores condiciones, contar con los gases necesarios para la operación como lo son el helio, el oxígeno y el aire, sin estos gases no se puede operar el equipo. Los paquetitos deben tener ciertas características, ya que si quedan muy gordos pueden quedar atrapados entre el carrusel y la trampa del equipo, lo que puede dejar inhabilitado el equipo. Como ultima mención podemos mencionar el conocer las muestras, ya que hay muestras con poco nitrógeno que se deben analizar

con un estándar más bajo, lo mismo pasa con las muestras con un alto contenido de nitrógeno, que se deben analizar con otro estándar.

Como resumen del proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 balanza analítica, 1 analizador elemental y 1 computador.
- Capacidad: 1 muestra cada 5 minutos.
- Personal: 1 analista.
- Tiempo de rotulación: 10 a 15 minutos.
- Tiempo para buscar las muestras: 15 a 30 minutos
- Tiempo de blanqueo equipo: 25 minutos.
- Requiere tener gas helio.
- Requiere tener gas oxígeno ultrapuro.
- Requiere tener gas aire.
- Requiere tener tin foils (papel de níquel).
- Requiere tener estándar de calibración adecuados a las muestras.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Capacidad intercambio catiónico: Este análisis es uno de los más demandantes, consiste en saturar el suelo con acetato de sodio a pH 8.2, luego lavarlo con alcohol y por último extraer lo que retuvo el suelo de sodio con acetato de amonio a pH 7 para ser cuantificado en el equipo IPC-OES.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Debido a la cantidad de material para el análisis solo se pueden realizar 90 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 50 a 90 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se prepara la solución de acetato de sodio a pH 8.2 y la solución de acetato de amonio a pH 7, esta actividad demora entre 30 a 60 minutos, dependiendo de la cantidad de solución a preparar, luego se procede con la saturación de sodio con acetato de sodio a pH 8.2, que consiste en agregar una cantidad de ml de solución a los recipientes, taparlos y ponerlos a agitar por 5 minutos, después que pasa el tiempo de agitación, se colocan en la centrifuga a 2000 rpm por 5 minutos, una vez detenida la centrifuga, se destapan los recipientes y el sobrenadante se desecha, se repite este procedimiento para completar un total de 4 veces. Una vez que se completa la etapa con el acetato de sodio, le sigue el lavado con alcohol, el cual consiste en quitar el exceso de sodio de la muestra y para eso se repite el mismo proceso anterior, pero esta vez con alcohol y un total de 6 veces. Cuando ya se completó el lavado con alcohol, viene la etapa de extraer el sodio de la muestra con acetato de amonio a pH 7, esto consiste en repetir las mismas etapas de los procesos anteriores, pero en vez de desechar el sobrenadante, este se junta en un matraz de

aforo, este proceso se repite por 4 veces y al final se termina de aforar con acetato de amonio a pH 7, se tapa, se homogeniza, luego se toma una alícuota de cada matraz, se agrega a un tubo de ensayo y se diluye con agua de osmosis, se tapa y se homogeniza, este proceso demora entre 20 a 40 minutos, dependiendo de la cantidad de muestras. Luego se registran las muestras en el libro de la sala de ICP, se llevan a la sala del ICP y se dejan en el refrigerador hasta su lectura. Cuando se está leyendo las muestras y estas sobrepasan la concentración del punto máximo de la curva se realiza una dilución acorde al exceso de concentración y se coloca a la cola de la lectura. Una vez que se terminó la secuencia, se revisa que coincidan los números de los tubos de ensayos con la posición asignada de lectura, si esta todo bien, se genera un reporte en formato Excel y se deja disponible para su revisión.

Lectura en ICP.

Se debe prender el chilling del equipo, el extractor y dar el flujo de gas argón para que el equipo purgue, este proceso tarda alrededor de 7 minutos, una vez que el equipo esta purgado, se prende y se esperan 20 minutos para que el equipo se estabilice, se procede a seleccionar la hoja de lectura del método y se realiza la lista de lectura correspondiente, colocando agua en cada salto de número, además blancos y muestras de referencia interna cada 30 muestras. Este proceso se realiza cuando el equipo se está estabilizando, una vez que hayan transcurrido los 20 minutos, si el equipo no está calibrado, se calibra y si esta calibrado, se procede a la lectura del método con su respectiva curva de calibración. Cada tubo de ensayo leído demora alrededor de 1 minuto.

Para este proceso la planificación es muy importante, ya que requiere utilizar agitadores por un tiempo prolongado, al igual que la centrifuga, el laboratorio cuenta con 2 agitadores, y 2 centrifugas, la capacidad de la centrifuga es de 28 muestras, lo que significa que se necesitan 2 ciclos para completar una tanda de 100 muestras, se utiliza una gran cantidad de solución para saturar el suelo con sodio, como para lavarlo con alcohol, los traslados son desde la sala de equipos, a la sala de agitación, luego a la centrifuga, para volver a la sala de equipos lo que equivale a XX pasos, es de suma importancia ir contabilizando cada lavado para que se cumpla el método a cabalidad, si hay algún error en la cantidad de lavados, puede arrojar valores erróneos en la lectura de ICP-OES, lo mismo si se confunde el trasvasijado de la etapa del acetato de amonio a pH 7 a los matraces o se desecha en vez de trasvasijarlo, lo que arruinaría el proceso entero, generando un reproceso que es bastante extenso, por eso el orden y la concentración son parte fundamental.

Como resumen del proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 balanza, 1 agitador, 1 centrifuga, 1 refrigerador, 1 pHmetro, 1 ICP-OES y 1 computador.
- Capacidad: 90 muestras.
- Personal: 2 analista.
- Tiempo de rotulación: 10 a 15 minutos.
- Tiempo pesaje muestras: 50 a 90 minutos
- Tiempo preparación de soluciones: 30 a 60 minutos.
- Tiempo de agitación: 5 minutos.
- Tiempo de centrifugado: 7 minutos.
- Tiempo preparación de muestras para ICP: 20 a 40 minutos.
- Tiempo lectura ICP: 1 minuto por muestra.
- Requiere tener gas argón para operar ICP-OES.
- Requiere tener centrifuga.
- Requiere tener agitador.
- Requiere tener matraces de aforo.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Densidad aparente: Este análisis es de los más solicitados al laboratorio, forma parte de varios packs analíticos, consiste en determinar la densidad aparente del suelo a partir de comprimir el suelo en un tubo falcón previamente pesada.

Todo parte en la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Aquí se utiliza un tubo falcón, el cual se pesa y se anota el peso en el libro de registro, luego se agrega suelo hasta un volumen determinado y se pesa, este peso se anota en el libro. Luego se comprime el suelo que está en la probeta con unos golpecitos con un martillo de goma y se le agrega suelo y se vuelve a comprimir hasta llegar al volumen inicial, una vez que se consigue el volumen comprimido, se pesa y se anota el peso en el libro. Realizar cada densidad tarda entre 4 a 7 minutos, la capacidad del análisis es de 90 muestras. Una vez finalizado el análisis, se genera un archivo Excel con los datos y se deja disponible para su revisión.

Para este proceso, la planificación es fundamental, ya que requiere utilizar una balanza semi analítica durante una jornada entera, disminuyendo la capacidad de pesaje para los otros análisis, otra cosa fundamental es no tarar el tubo falcón entre muestra y muestra, ya que esto afectaría los valores obtenidos, alterando la densidad de la muestra, considerar que la densidad de los suelos se utiliza para planificar la adición de fertilizantes y abonos a los suelos, y un valor incorrecto en la densidad podría generar un daño considerable a los terrenos. También pasa que no alcanza la muestra para realizar el análisis con la cantidad establecida, porque ingreso menos

de la cantidad requerida y como último, que no se genere el archivo Excel con los datos al terminar, dejando los datos en el registro físico solamente.

Como resumen del proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 balanza y 1 computador.
- Capacidad: 90 muestras.
- Personal: 1 analista.
- Tiempo por muestra: 4 a 7 minutos.
- Requiere disponibilidad de balanza semi analítica.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Texturas: Este análisis es de los más solicitados al laboratorio, consiste en determinar las fracciones de arena, arcilla y limo de las muestras de suelo, mediante la separación de las partículas por peso mediante un dispersante al aplicarle agitación.

Todo parte con la rotulación de los recipientes con su respectivo número de laboratorio, actividad que toma entre 10 a 15 minutos, luego se trasladan a la sala de balanzas, esta sala cuenta con 3 balanzas, 2 de carácter semi analítica y 1 de carácter analítica para análisis con menos gramaje. Debido a la cantidad de material para el análisis solo se pueden realizar 70 muestras, pesar esa cantidad de muestras lleva alrededor de 50 a 90 minutos. Eso dependiendo del analista que pese. Luego se vuelve a la sala inicial, se prepara la solución de hexametáfosfato de sodio, que toma entre 40 a 60 minutos dependiendo de la cantidad de muestras. Se trasvasijan las muestras a recipientes de reposo y se agregan 100 ml de hexametáfosfato de sodio y 100 ml de agua de osmosis, el hexametáfosfato de sodio funciona como dispersante de partículas, la mezcla se deja reposando hasta el siguiente día. Luego se trasvasija la mezcla a unos vasos de agitación y se colocan a agitar por 5 minutos en un agitador de alta velocidad, estos agitadores tienen una capacidad para 3 muestras en simultaneo, una vez transcurrido el tiempo de agitación se trasvasija a una probeta de 1000 ml, que luego se afora, esta tarea tarda entre 60 a 80 minutos, dependiendo de la cantidad de muestras. Cuando estén todas las muestras trasvasijadas a probetas y aforadas, se comienza con la lectura de la arena, esto se realiza agitando de manera manual la mezcla en la probeta con una varilla de agitación, se agita por 10 segundos y se introduce el hidrómetro, se estabiliza y a los 40 segundos se lee que valor arroja, este proceso se realiza a todas las probetas que se prepararon y puede tardar entre 70 a 90 minutos. Luego se mide la temperatura de cada probeta y se deja decantar por 120 minutos, cuando pasa el tiempo de decantación se vuelve a leer, pero sin agitar las muestras, esto demora entre 20 a 30 minutos, a diferencia de la primera lectura, aquí no se debe esperar 40 segundos y solo se debe estabilizar el hidrómetro para poder anotar el valor de lectura, después se vuelve a medir la temperatura. Una vez que están los datos listos, se genera un archivo Excel con los datos y se deja disponible para revisión.

Para este proceso la planificación es esencial, los tiempos que requiere el análisis están muy definidos y deben ser respetados, ya que pueden generar lecturas erróneas. El laboratorio cuenta con 4 agitadores de alta velocidad y 80 probetas. Si hubiese más probetas, se podrían realizar un mayor número de muestras, ya que los tiempos disponibles que quedan en el día de agitación lo permiten. Este análisis requiere una sala con una temperatura lo más cercana a 20 °C, ya que cada grado de variación altera los cálculos, la sala cuenta con una buena disposición, pero se hace pequeña para la cantidad de muestras que se realizan. El análisis de texturas se ve afectado por la cantidad de sales que tenga la muestra y por la cantidad de materia orgánica, dependiendo del valor que tengan en cada uno de esos parámetros se debe realizar otro proceso, dejando las muestras en espera y aumentando el tiempo del proceso.

Como resumen del proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 4 agitadores de alta velocidad, 1 balanza y 1 computador.
- Capacidad: 70 muestras.
- Personal: 1 analista.
- Tiempo de rotulación: 10 a 15 minutos.
- Tiempo de pesado: 50 a 90 minutos.
- Tiempo de preparación hexametafosfato de sodio: 40 a 60 minutos.
- Tiempo de preparación muestras: 20 a 30 minutos
- Tiempo de reacción: 1 noche.
- Tiempo de agitación: 5 minutos por muestra.
- Tiempo de lectura 1: 70 a 90 minutos
- Tiempo de decantación: 120 minutos
- Tiempo de lectura 2: 20 a 30 minutos.
- Requiere tener los agitadores de alta velocidad en buenas condiciones.
- Requiere tener una sala a 20 °C.
- Requiere un hidrómetro especial para esta labor.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Retención de humedad: Este análisis a simple vista parece sencillo, pero es muy desafiante, consiste en agregar una cantidad de muestra a unos cilindros que tienen una malla, luego se saturan con agua y se colocan en unas ollas de presión hasta que queden a capacidad de campo, luego estas muestras se sacan de las ollas, se desprende la muestra de los cilindros y se pasa a capsulas para ser pesadas, luego se secan a 105 °C y se vuelven a pesar.

Todo parte con el ensamble de los cilindros que recibirán la muestra, esto consiste en colocar un trozo de tela ajustado con elástico a un cilindro de un centímetro de alto, que esta previamente codificado, esta tarea es muy demorosa, tarda entre 240 a 300

minutos, ya que son 240 cilindros a preparar, una vez que están listos los cilindros en una bandeja se le agrega muestra hasta el ras, esta tarea demora entre 90 a 120 minutos, luego se agrega agua a la bandeja para que se sature el suelo con agua siendo muy cuidadoso de no sumergir los cilindros, luego se dejan las muestras una noche saturando y al día siguiente se colocan los cilindros en los platos porosos previamente saturados con agua, esta tarea tarda entre 50 a 80 minutos, una vez que están llenas las ollas, se sellan con extremo cuidado y se regulan las presiones correspondientes para cada olla, una a 0.33 bar y otra a 15 bar, luego se esperan 6 días para que las muestras boten el exceso de agua y queden a capacidad de campo. Cumplido los 6 días se quita la presión de cada olla, se abren y con cuidado se traspasan los cilindros a unas capsulas Petri, en esta etapa es fundamental tener la sala fría para evitar perder humedad en las muestras, también se sacan las muestras de manera parcializada por el mismo motivo anterior, luego se desfonda el cilindro y se pasa la muestra de suelo directo a la capsula Petri y se lleva a la sala de balanzas para ser pesadas, esta tarea demora entre 120 a 140 minutos. Una vez que están todas las muestras pesadas, se llevan a la sala de estufas y se colocan a secar a 105 °C, colocar las muestras en la estufa tarda entre 20 a 30 minutos. Se dejan secar hasta el día siguiente, luego se sacan de la estufa y se llevan a la sala de balanzas donde se dejan enfriar 30 minutos antes de proceder a pesarlas, pesar las muestras secas tarda entre 60 a 100 minutos. Todos los datos quedan registrados en un archivo Excel y se dejan disponibles para su revisión.

Para este proceso la planificación es esencial, ya que los tiempos del proceso son muy prolongados, desde la preparación de los cilindros hasta el tiempo de sometimiento a presión que sufren las muestras. El laboratorio cuenta con 1 set de ollas de presión compuesta por una olla que soporta 0.33 bar y otra olla que soporta 15 bar. La capacidad máxima que tienen las ollas es de cuatro platos y cada plato puede tener 30 cilindros, por ende da un total de 120 muestras, no se consideran 240 muestras ya que se necesitan 2 presiones para tener la retención de humedad, que se compone de capacidad de campo, punto de marchitez y humedad aprovechable, un error en la codificación, la posición, el cierre de las ollas o en los pesos puede generar perder el trabajo de 8 a 9 días, por eso es un proceso muy delicado, que se ve afectado por la temperatura, los traslados de tener que ir de una sala a otra, lo cual puede generar problemas. La saturación de los platos o de las muestras es fundamental, si no está bien realizado, también puede afectar el resultado final. Otro punto que puede afectar los resultados es el funcionamiento del compresor o las fugas del sistema, si no están en buenas condiciones, su desempeño no será el adecuado y puede ser que no entregue o mantengan las presiones necesarias para el cumplimiento del análisis.

Como resumen para este proceso tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 set de ollas, 1 balanza, 1 estufa, 1 compresor de aire y 1 computador.
- Capacidad: 120 muestras.

- Personal: 1 analista.
- Tiempo de preparación de cilindros: 240 a 300 minutos.
- Tiempo de agregado de muestra: 90 a 120 minutos.
- Tiempo de saturación: 1 noche.
- Tiempo de colocación de cilindros en olla: 50 a 80 minutos.
- Tiempo de reposo (sometidas a presión): 6 días.
- Tiempo de pesado 1: 120 a 140 minutos.
- Tiempo de secado a 105 °C: 1 día.
- Tiempo de enfriado: 30 minutos.
- Tiempo de pesado 2: 60 a 100 minutos.
- Requiere tener los platos porosos saturados con agua.
- Requiere un compresor que entregue 20 bar de presión.
- Requiere actualización y estandarización del proceso.

Revisión y liberación de informes: La revisión y carga de los reportes o registros es una de las tareas necesarias para que se liberen los folios y puedan ser enviados a los clientes. Esta etapa requiere aproximadamente 10 a 30 minutos, siempre que estén todos los datos cargados, ya que hay folios que tiene 1 muestra, como otros que tiene más de 100. Si no es así, varía dependiendo de la cantidad de datos a revisar y cargar, lo que puede demorar 20 a 40 minutos por reporte.

En esta etapa, las situaciones más recurrentes son, que no se dispone del tiempo suficiente para ejecutar la revisión, debido a que las personas que están encargadas deben realizar otras cosas, que muchas veces no están planificadas, lo que genera que queden inconclusas y se extienda el tiempo de revisión.

También suele suceder que no se encuentren los registros físicos para compararlos con los registros digitales que fueron cargados por los analistas en el lugar que corresponde, lo que provoca que se tenga que ir a buscar a las diferentes salas estos registros.

Otra de las cosas que pasa, es que se realizan los análisis, pero los analistas no generan el archivo digital, entonces avanza el tiempo cuando esos datos ya deberían estar cargados.

Para esta etapa no existe un procedimiento por el cual guiarse para la revisión, por ende, el proceso no está estandarizado.

Como resumen para esta etapa tenemos:

- Cantidad de equipos: 2 computadores.
- Personal: jefe de laboratorio y supervisor de laboratorio.
- Tiempo de revisión reporte: 20 a 40 minutos.
- Tiempo de revisión de folios: 10 a 30 minutos.
- Requiere continuidad en la labor para evitar errores.
- Requiere que los registros estén en el lugar establecido para disminuir los traslados.
- Requiere que los analistas generen los reportes digitales de los registros.

Entrega de resultados: Esta actividad es la culminación de la cadena de procesos del laboratorio para generar el informe que se le enviara al cliente, consta de verificar que el folio este liberado, verificar la información de pago, ya sea contra entrega o por facturación, generar el informe en formato PDF y enviar el informe al cliente. Requiere de un tiempo de 6 a 10 minutos por folio.

Como resumen para esta etapa tenemos:

- Cantidad de equipos: 1 computador.
- Personal: Asistente administrativo.
- Tiempo de preparación y envío: 6 a 10 minutos.

A través de las diferentes interacciones con los colaboradores, fue posible captar no solo los aspectos técnicos de cada tarea, sino también los desafíos que deber sortear día a día, dentro de esta recolección también aportaban sus propuestas de mejora y mencionaban las limitaciones de los recursos disponibles para realizar sus tareas, algo que impactaba su estado anímico. Este acercamiento no solo ayudó a validar la información registrada, sino que también fomentó un ambiente de colaboración y compromiso, ya que los colaboradores se sintieron involucrados y valorados en el proyecto.

Además, la observación directa permitió detectar discrepancias entre los procedimientos establecidos y las prácticas reales, evidenciando la necesidad de estandarizar y actualizar guías operativas, punto que se tocara en el análisis de los datos recolectados.

Como tabla resumen tenemos:

Proceso Principal	Etapa	Actividad	Capacidad	Capacidad Real	Rendimiento %	Frecuencia de la Actividad
Recepción	Ingreso de muestras	Registro y codificación	160	200	80.00	diaria
Secado & Tamizado	Secado de muestras	Ingreso de muestras a estufa de secado	180	240	75.00	diaria
Secado & Tamizado	Tamizado de muestras	Tamizado de muestras secas por tamiz de 2 mm	80	110	72.73	lunes - miércoles -
Análisis Físicos	D. Aparente	Determinación de densidad aparente	90	120	75.00	1 vez por semana
Análisis Físicos	Clasificación textural	Determinación de arena, arcilla y limo	70	80	87.50	1 vez por semana
Análisis Físicos	Retención de humedad	Determinación de Capacidad de campo, humedad aprovechable y punto de marchitez	120	120	100.00	1 vez cada 8 días
Análisis Químicos	pH & C.E suspensión	Determinación de pH y conductividad eléctrica en suspensión	80	110	72.73	1 a 2 veces por semana
Análisis Químicos	Cationes intercambio	Extracción de macronutrientes	140	200	70.00	1 vez por semana
Análisis Químicos	Micronutrientes	Extracción de micronutrientes	120	150	80.00	1 vez por semana
Análisis Químicos	Boro disponible	Extracción de Boro	80	120	66.67	1 vez por semana
Análisis Químicos	Digestión	Extracción de metales totales	65	80	81.25	1 vez por semana
Análisis Químicos	Pastas de saturación	Preparación de pastas	64	120	53.33	1 vez por semana
Análisis Químicos	Fosforo Olsen	Determinación de fosforo	90	120	75.00	1 vez por semana
Análisis Químicos	Azufre extractable	Determinación de azufre	80	100	80.00	1 vez por semana
Análisis Químicos	N - NO3 - NH4 disponible	Determinación de nitrógeno, nitrato y amonio	80	110	72.73	1 vez por semana
Análisis Químicos	Mercurio & Selenio	Determinación de mercurio y selenio total	70	80	87.50	1 vez por semana
Análisis Químicos	Materia orgánica	Determinación de materia orgánica	220	250	88.00	1 vez por semana
Análisis Químicos	CIC	Extracción de sodio saturado	90	110	81.82	1 vez por semana
Análisis Químicos	Lectura ICP-OES	Cuantificación de extracciones	360	420	85.71	2 a 3 veces por semana
Revisión	Revisión de datos	Revisión de los parámetros de calidad de los análisis	7	10	70.00	2 a 3 veces por semana
Aprobación	Aprobación de folios	Aprobación de folios completos	22	30	73.33	2 a 3 veces por semana
Entrega de resultados	Entrega de resultados	Envío de informe final al cliente.	22	30	73.33	2 a 3 veces por semana

Tabla 3-2: Resumen recolección de datos capacidad y rendimiento por análisis.

En la tabla 3-2, se observan las diferentes actividades que se realizan para la matriz de suelo, la frecuencia de realización, la capacidad real de los procesos y el rendimiento actual.

Estos datos e información fueron previamente validados con cada colaborador.

3.2 Analizar e Interpretar los datos.

La etapa de análisis de datos en tiene como objetivo identificar las ineficiencias y áreas de mejora dentro de los procesos clave del laboratorio, integrando tanto información cuantitativa como cualitativa. Para ello, se han implementado diversas herramientas analíticas y metodológicas que permiten comprender las dinámicas actuales del laboratorio y priorizar las acciones de mejora.

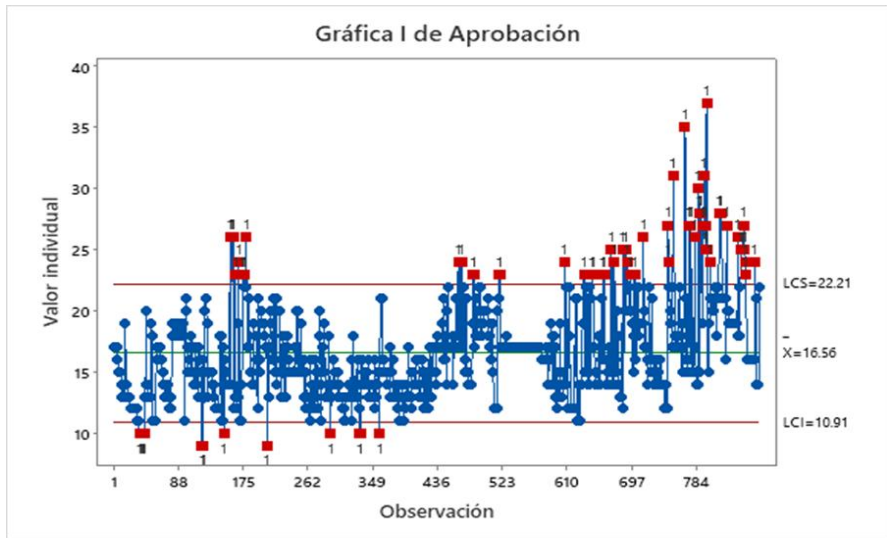


Gráfico 3-7: Carta control de individuales procesos de aprobación de folios.

En el grafico 3-7, se observa como la aprobación de los resultados está completamente fuera de control estadístico.

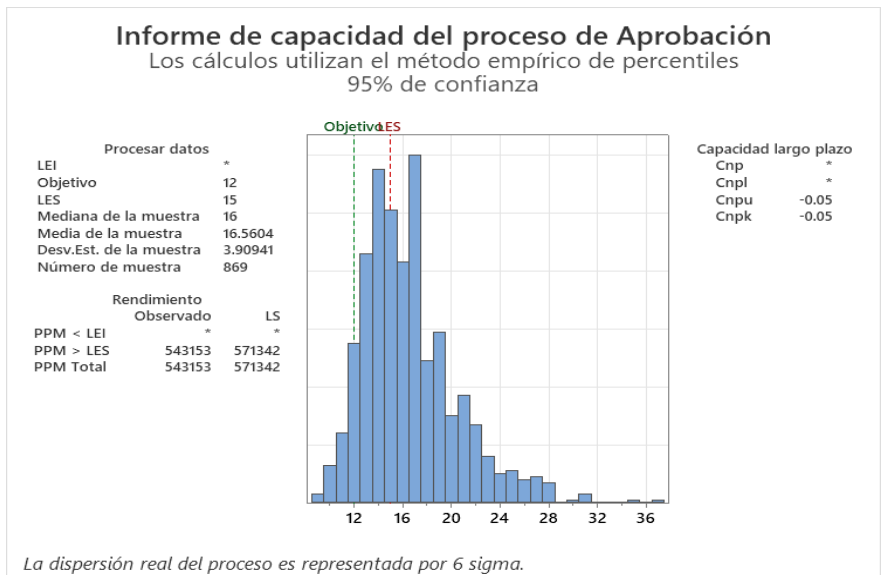


Gráfico 3-8: Grafico de capacidad proceso de aprobación de folios.

En el grafico 3-8, se observa que el proceso no es capaz de cumplir con la especificación de 12 días, además el Cnpk al ser negativo indica que el centro de los datos esta fuera de especificación.

Luego se realizó un Análisis de Modos y Efectos de Fallos (FMEA) basado en observaciones directas y datos recolectados de los procedimientos actuales. Este análisis permitió identificar los posibles puntos de falla en los procesos clave, priorizándolos según su impacto potencial en la productividad y calidad del laboratorio.

Operación o Función	Modo de Fallo	Efecto del fallo	Causa del fallo	Controles Actuales	Detectabilidad (D)	Gravedad (S)	Ocurrencia (P)	NPR
Selección de analíticas	Error al seleccionar la analítica	Productividad: disminuida por el trabajo necesario para corregir el error (realizar otros análisis en menos tiempo).	Confusión con los paquetes analíticos.	No hay controles	8	8	4	256
Selección de analíticas	Cambio de análisis en la marcha	Productividad: disminuida debido a cambios inesperados y la necesidad de volver a procesar muestras.	Confusión con los paquetes analíticos.	No hay controles	6	8	5	240
Procesamiento de muestras	Muestras con exceso de agua	Productividad: disminuida por requerir mayor tiempo de secado, desconociendo la cantidad final para realizar análisis.	Toma de muestra incorrecta por parte del cliente.	No hay controles	6	7	4	168
Manipulación de muestras	Manejo inadecuado de las muestras	Calidad: afectada si las muestras se contaminan o pierden parte de su contenido. Productividad: afectada por la necesidad de repetir los análisis.	Desconocimiento del tipo de muestra.	No hay controles	6	9	3	162
Preparación de soluciones	Falta de solución de reacción	Productividad: disminuida al tener que detener el proceso para preparar solución o por el reproceso de las muestras que no se pudieron hacer reaccionar.	No hay preparación programada de las soluciones de reacción.	No hay controles	6	9	3	162
Preparación del análisis	Poco tiempo de reacción	Calidad: afectada debido a datos erróneos o incompletos. Productividad: afectada por repetir los análisis.	Reacción incompleta o interrupción prematura del análisis.	No hay controles	6	9	3	162
Preparación del análisis	Control de temperatura	Calidad: afectada por mediciones incorrectas debido a variaciones de temperatura. Productividad: reducida por la necesidad de repetir el análisis debido a la variabilidad de los resultados.	No se tiene una temperatura adecuada para realizar el análisis.	No hay controles	4	9	4	144

Tabla 3-3: Análisis de modos y efectos de fallos parte 1.

De la tabla 3-3, se observa que la operación que se debe gestionar para minimizar su impacto y ocurrencia es la selección de analíticas, que tiene que ver con el área de recepción de muestras y atención al cliente, ya que sus 2 fallos son los que generan un mayor impacto, estos procesos al ser de carácter manual depende mucho de la persona que ingresa la información de las muestras al sistema, se debe prestar mucha atención a lo que el cliente solicita y contrastarla con lo que se seleccionó en el sistema.

Otro de los puntos que se resaltan con mayor criticidad tiene que ver con la operación de procesamiento de muestras, en especial con muestras con exceso de agua, en invierno este fallo se vuelve muy recurrente, lo que genera mayor tiempo de procesamiento de muestras.

Operación o Función	Modo de Fallo	Efecto del fallo	Causa del fallo	Controles Actuales	Detectabilidad (D)	Gravedad (S)	Ocurrencia (P)	NPR
Preparación del análisis	Agitación homogénea	Calidad: afectada por la mezcla inadecuada de componentes. Productividad: reducida por necesidad de rehacer el proceso.	Agitación incorrecta o insuficiente durante el proceso.	No hay controles	4	8	4	128
Procesamiento de muestras	Muestras con exceso de piedras	Productividad: reducida por tener que solicitar muestra al cliente para completar los análisis.	Toma de muestra incorrecta por parte del cliente.	No hay controles	6	7	3	126
Control de muestras	Error en el tipo de muestra	Calidad: afectada por análisis incorrectos para el tipo de muestra. Productividad: disminuida por la necesidad de reprocesos por el tipo de muestra.	Identificación incorrecta de la muestra al recibirla.	No hay controles	4	9	3	108
Calibración de equipos	Calibración errónea de equipos	Calidad: afectada por mediciones incorrectas, generando datos erróneos. Productividad: reducida por la necesidad de recalibrar y repetir el análisis.	Falta de un procedimiento estandarizado de calibración.	No hay controles	4	9	3	108
Preparación de soluciones	Error en ajuste de pH de soluciones	Calidad: afectada por reacciones ineficaces o incorrectas. Productividad: comprometida por la necesidad de repetir el análisis.	Error humano al ajustar el pH o equipos de medición con fallas.	No hay controles	4	9	3	108
Preparación de soluciones	Error en preparación de soluciones	Calidad: comprometida por soluciones inexactas. Productividad: reducida por necesidad de rehacer la preparación y repetir las muestras.	Confusión de reactivos al preparar las soluciones o al pesar el reactivo.	No hay controles	6	9	2	108
Generar reporte digital	Error al pasar de datos físicos a digitales	Calidad: afectada por errores de transcripción. Productividad: reducida por el tiempo extra necesario para verificar y corregir los datos.	Transcripción incorrecta o falta de automatización en la captura de datos.	al revisar los datos entregados	4	9	3	108

Tabla 3-4: Análisis de modos y efectos de fallos parte 2.

En la tabla 3-4, se observan valores de criticidad intermedios, que, si bien hay que tenerlos en consideración, no son los más graves, aquí se destaca el fallo de agitación homogénea, que tiene que ver con el área de análisis fisicoquímicos y muestras con exceso de piedras, que tiene que ver con el área de procesamiento de muestras.

Operación o Función	Modo de Fallo	Efecto del fallo	Causa del fallo	Controles Actuales	Detectabilidad (D)	Gravedad (S)	Ocurrencia (P)	NPR
Control de muestras	Cantidad de muestra bajo requerimiento	Calidad: comprometida por resultados imprecisos debido a trabajar con menos pesos. Productividad: reducida por la necesidad de ser cuidadoso al realizar los procesos.	Toma de muestra incorrecta por parte del cliente.	Peso antes del ingreso	3	7	5	105
Calibración de equipos	Baja estabilidad en los equipos	Calidad: afectada por datos inconsistentes debido a equipos inestables. Productividad: disminuida por tiempos para estabilizar los equipos, inactividad por necesidad de reparaciones.	Equipos no mantenidos correctamente.	Plan de mantenimiento de equipos	3	8	3	72
Preparación del análisis	Tiempo de reacción excesivo	Calidad: comprometida si el tiempo de reacción excede los límites necesarios. Productividad: afectada debido a tiempos más largos de lo necesario y posibles errores en las mediciones.	Desconocimiento del procedimiento.	No hay controles	2	9	3	54
Cargar resultados	Error al cargar los datos	Calidad: afectada por la carga incorrecta de los resultados. Productividad: comprometida por la necesidad de corregir los datos cargados.	Error humano o fallas en el software de carga de datos.	al revisar los folios para aprobarlos	3	9	2	54
Entrega de reportes	Falta de informes digitales para revisión	Productividad: reducida por procesos manuales de tipeo de datos a la hora de revisión de reportes.	No se digitalizan los informes o falta de infraestructura para hacerlo.	No hay controles	2	6	4	48
Registro de datos	Registro manual incompleto	Calidad: afectada por la pérdida de datos importantes; Productividad: comprometida por la necesidad de buscar o rehacer registros incompletos.	Omitir información pertinente al análisis realizado.	al revisar los datos entregados	2	8	3	48
Preparación del análisis	Material insuficiente para el análisis.	Productividad: ciclos mas largos por falta de material, lo que conlleva a utilizar un mayor tiempo para completar las tandas de análisis.	Planificación inadecuada de la capacidad del análisis.	No hay controles	2	6	2	24

Tabla 3-5: Análisis de modos y efectos de fallos parte 3.

En la tabla 3-5, se observan valores de criticidad bajos, que, aunque tienen una gravedad alta, su nivel de ocurrencia los deja al final de las preocupaciones, aquí se destaca el fallo de baja estabilidad en los equipos y error al cargar los datos, ambos tienen que ver con el área de análisis fisicoquímicos.

Para continuar con el análisis de los datos se priorizo por los servicios más solicitados al laboratorio en periodo de enero a octubre del 2024.

Los datos fueron los siguientes:

Servicio	N° Muestras
1-C.U	1501
2-Fe.C	1014
3-C.DS4	553
4-Fi.C	348
5-S.C	343
6-P.M	209
7-S.F	148
8-R.C/N	92
9-E.NO3+NH4	133
10-T.D	111

Tabla 3-6: Cantidad de muestras por servicio.

En la tabla 3-6, se observa el tipo de servicio solicitado por los clientes y la cantidad de muestras que ingresaron para ese servicio, destacando el servicio C.U, con 1501 muestras.

Servicio	Descripción Combo
1-C.U	pH, C.E extracto, M.O, RAS, Textura y Retención de Humedad (PMP, CC y HA), Densidad Aparante.
2-Fe.C	pH y CE suspensión, MO, N, P, K, S, Cu, Fe, Mn, Zn y B disponibles Ca, Mg, Na, K intercambiables.
3-C.DS4	pH y CE suspensión, MO, N, P, K total, Nitrato (NO3), Amonio (NH4), P Olsen, K disp, S ext, textura, As, Cd, Cu, Hg Ni, Pb, Se, Zn total.
4-Fi.C	D Aparente terrón, Porosidad, Textura (Arcilla, Limo, Arena, Clasificación Textural), Ret. Humedad (CC,PMP,HA).
5-S.C	pH, CE suspensión, CE extracto, Cl-, HCO3-, SO4-, Ca++, Mg++, K++, Na++ Solubles, RAS.
6-P.M	N total, N_NO3, + N_NH4.
7-S.F	pH, CE suspensión, CE extracto, MO, N, P, K, Fe, Cu, Zn, Mn, B, S disponible Ca, Mg, K, Na intercambio Cl, HCO3-, SO4-, Ca++, Mg++, K+, Na+ solubles, RAS.
8-R.C/N	Relación C org total/N (C y N Total, C/N).
9-E.NO3+NH4	Especial Nitrato + Amonio en Suelo (Amonio (N_NH4), Nitrato (N_NO3)).
10-T.D	pH y CE suspensión, CE extracto, MO, P, K, Fe, Cu, Zn, Mn y B disponibles, Ca, Mg, Na, K intercambiables, S, Textura, CIC.

Tabla 3-7: Descripción de los servicios ofrecidos por el laboratorio.

En la tabla 3-7, se observa los análisis tanto físicos como químicos que componen cada servicio que solicitan los clientes.

Servicio	U.F	Nº Muestras	Total U.F
1-C.U	1.7	1501	2551.7
2-Fe.C	2.05	1014	2078.7
3-C.DS4	2.55	553	1410.15
4-Fi.C	1.04	348	361.92
5-S.C	1.1	343	377.3
6-P.M	0.51	209	106.59
7-S.F	2.14	148	316.72
8-R.C/N	0.56	92	51.52
9-E.NO3+NH4	0.7	133	93.1
10-T.D	2.17	111	240.87

Tabla 3-8: Valores monetarios de los servicios ofrecidos por el laboratorio.

En la tabla 3-8, se observan los valores individuales de cada servicio contratado por los clientes y el valor total aportado por los diferentes servicios, donde se destaca el servicio C.U, que aporta un total de \$ 2551.7 U.F y C.DS4, siendo el servicio con el mayor valor individual con un precio de \$ 2.55 U.F.

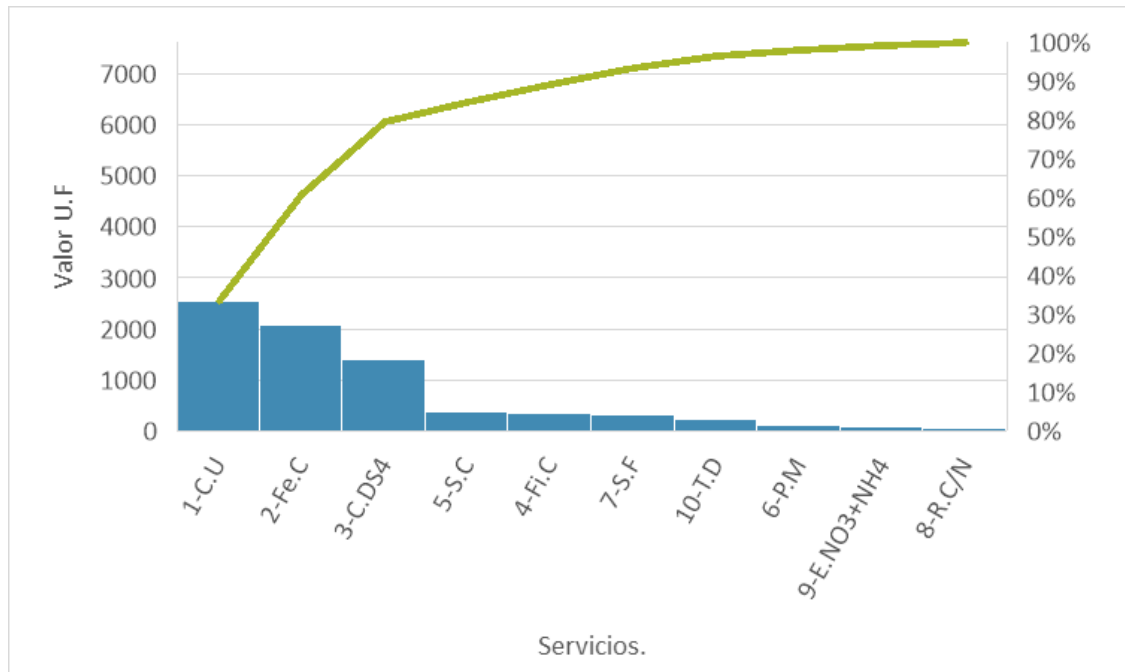


Gráfico 3-9: Pareto U.F. totales por servicios ofrecidos por el laboratorio.

En el gráfico 3-9, se observa que el 80 por ciento de los ingresos del laboratorio vienen de los servicios C.U, Fe.C y C.DS4, esto equivale a 3068 muestras de un total de 4452 muestras.

Debido a la cantidad de análisis por servicio, es importante priorizar por el que requiere más tiempo para su ejecución, ya que eso indica el camino que debemos seguir. Para lo anterior se realizó una tabla compilatoria con los tiempos óptimos, tiempos medios y tiempos pésimos para los diferentes procesos involucrados en los 3 servicios seleccionados con el diagrama Pareto.

Codificación	Proceso	Precedencia	T.Op	T.Me	T.Pe	T.E	VAR
A	Recepción de muestras.		1	1	1	1.00	0.00
B	Secado & Tamizado.	A	2	3	6	3.33	0.44
C	pH & C.E Suspensión.	B	1	2	3	2.00	0.11
D	Pastas.	B	3	4	6	4.17	0.25
E	M. Orgánica.	B	2	2	2	2.00	0.00
F	D.Aparente.	B	2	2	2	2.00	0.00
G	Textura.	B	2	3	4	3.00	0.11
H	R. Humedad.	B	7	8	9	8.00	0.11
I	N, NO3, NH4 Disp.	B	2	3	4	3.00	0.11
J	Fosforo Disp.	B	2	2	2	2.00	0.00
K	Cat. Intercambio.	B	1	2	3	2.00	0.11
L	Micronutrientes Disp.	B	1	2	3	2.00	0.11
M	Boro Disp.	B	1	2	3	2.00	0.11
N	Digestión.	B	2	3	4	3.00	0.11
O	Azufre Disp.	B	1	2	3	2.00	0.11
P	N & C Total.	B	1	2	3	2.00	0.11
Q	Hg & Se.	N	2	3	4	3.00	0.11
R	Lectura ICP.	K, L, M, N	1	2	3	2.00	0.11
S	Revisión & Aprobación.	C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, O, P, Q, R	1	2	3	2.00	0.11
T	Entrega de Resultados.	I	1	1	1	1.00	0.00

Tabla 3-9: Tabla de actividades de servicios críticos ofrecidos por el laboratorio.

En la tabla 3-9, se observan las diferentes actividades para los 3 servicios que componen el 80 por ciento de los ingresos, para la matriz de suelo, con sus tiempos estimados y precedencia.

Servicio C.U							
Codificación	Proceso	Precedencia	T.Op	T.Me	T.Pe	T.E	VAR
A	Recepción de muestras.		1	1	1	1.00	0.00
B	Secado & Tamizado.	A	2	3	6	3.33	0.44
C	pH & C.E Suspensión.	B	1	2	3	2.00	0.11
D	Pastas.	B	3	4	6	4.17	0.25
E	M. Orgánica.	B	2	2	2	2.00	0.00
F	D. Aparente.	B	2	2	2	2.00	0.00
G	Textura.	B	2	3	4	3.00	0.11
H	R. Humedad.	B	7	8	10	8.17	0.25
S	Revisión & Aprobación.	C, D, E, F, G,H	1	2	3	2.00	0.11
T	Entrega de Resultados.	S	1	1	1	1.00	0.00
Ruta 1		A-B-H-S-T	Ruta Crítica			15.50	0.81

Tabla 3-10: Tabla de actividades servicio critico C.U.

En la tabla 3-10, se observan las diferentes actividades para completar el servicio C.U, donde se destaca la actividad R. Humedad que tiene el tiempo más prolongado de ejecución.

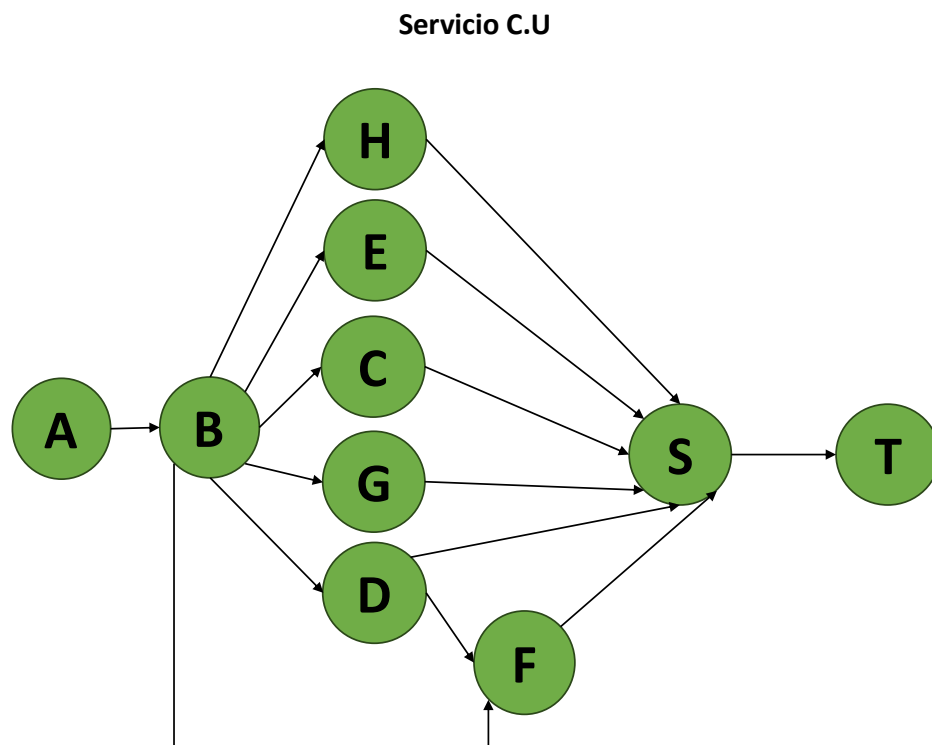


Gráfico 3-10: Diagrama PERT servicio critico C.U.

En el grafico 3-10, se observa el diagrama PERT para el servicio C.U, donde se aprecian las diferentes interacciones entre las actividades para completar este servicio.

Servicio Fe.C							
Codificación	Proceso	Precedencia	T.Op	T.Me	T.Pe	TE	VAR
A	Recepción de muestras.		1	1	1	1.00	0.00
B	Secado & Tamizado.	A	2	3	6	3.33	0.44
C	pH & C.E Suspensión.	B	1	2	3	2.00	0.11
E	M. Orgánica.	B	2	2	2	2.00	0.00
I	N, NO3, NH4 Disp.	B	2	3	4	3.00	0.11
J	Fosforo Disp.	B	2	2	2	2.00	0.00
K	Cat. Intercambio.	B	1	2	3	2.00	0.11
O	Azufre Disp.	B	1	2	3	2.00	0.11
L	Micronutrientes Disp.	B	1	2	3	2.00	0.11
M	Boro Disp.	B	1	2	3	2.00	0.11
R	Lectura ICP.	K, L, M	1	2	3	2.00	0.11
S	Revisión & Aprobación.	C, E, I, J, O, R	1	2	3	2.00	0.11
T	Entrega de Resultados.	T	1	1	1	1.00	0.00
Ruta 7		A-B-K-L-R-S-T	Ruta Crítica			13.33	0.89

Tabla 3-11: Tabla de actividades servicio critico Fe.C.

En la tabla 3-11, se observan las diferentes actividades para completar el servicio Fe.C, donde se destaca la actividad Secado & Tamizado, que tiene el tiempo más prolongado de ejecución.

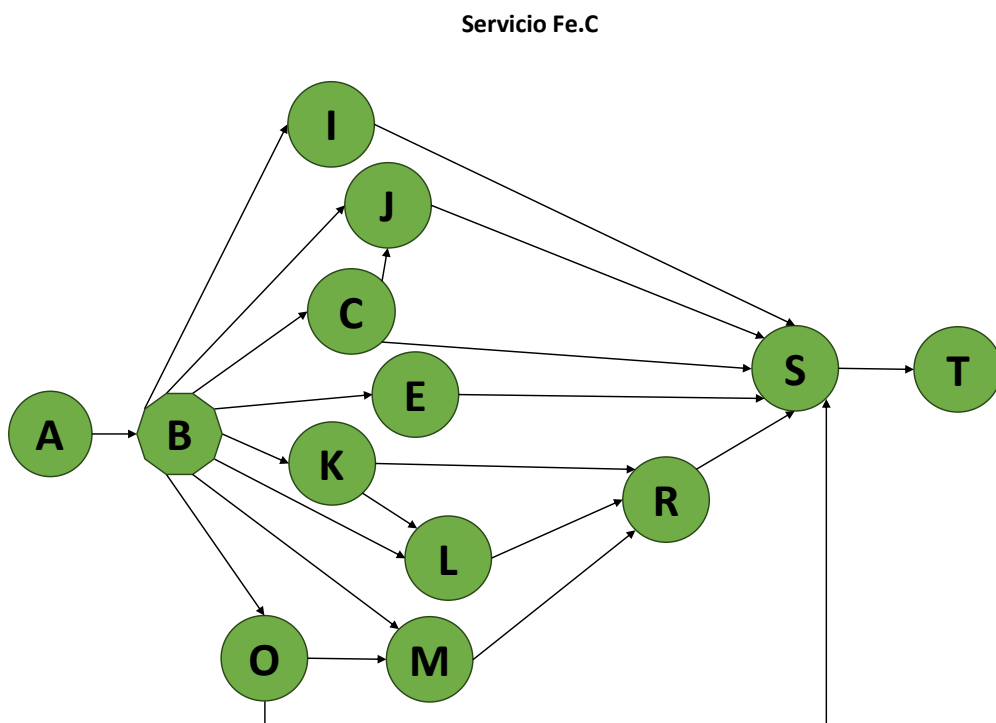


Gráfico 3-11: Diagrama PERT servicio critico Fe.C.

En el grafico 3-11, se observa el diagrama PERT para el servicio Fe.C, donde se aprecian las diferentes interacciones entre las actividades para completar este servicio.

Servicio C.DS4							
Codificación	Proceso	Precedencia	T.Op	T.Me	T.Pe	TE	VAR
A	Recepción de muestras.		1	1	1	1.00	0.00
B	Secado & Tamizado.	A	2	3	6	3.33	0.44
C	pH & C.E Suspensión.	B	1	2	3	2.00	0.11
E	M. Orgánica.	B	2	2	2	2.00	0.00
P	N & C Total.	B	2	2	2	2.00	0.00
I	N, NO3, NH4 Disp.	B	2	3	4	3.00	0.11
J	Fosforo Disp.	B	2	2	2	2.00	0.00
K	Cat. Intercambio.	B	1	2	3	2.00	0.11
O	Azufre Disp.	B	1	2	3	2.00	0.11
G	Textura.	B	2	3	4	3.00	0.11
N	Digestión.	B	2	3	4	3.00	0.11
Q	Hg & Se.	N	2	3	4	3.00	0.11
R	Lectura ICP.	K, N	1	2	3	2.00	0.11
S	Revisión & Aprobación.	C, E, P, I, J, O, G, Q, R	1	2	3	2.00	0.11
T	Entrega de Resultados.	S	1	1	1	1.00	0.00
Ruta 6		A-B-I-P-G-S-T	Ruta Crítica			15.33	0.78

Tabla 3-12: Tabla de actividades servicio critico C.DS4.

En la tabla 3-12, se observan las diferentes actividades para completar el servicio C.DS4, donde se destaca la actividad Secado & Tamizado, que tiene el tiempo más prolongado de ejecución.

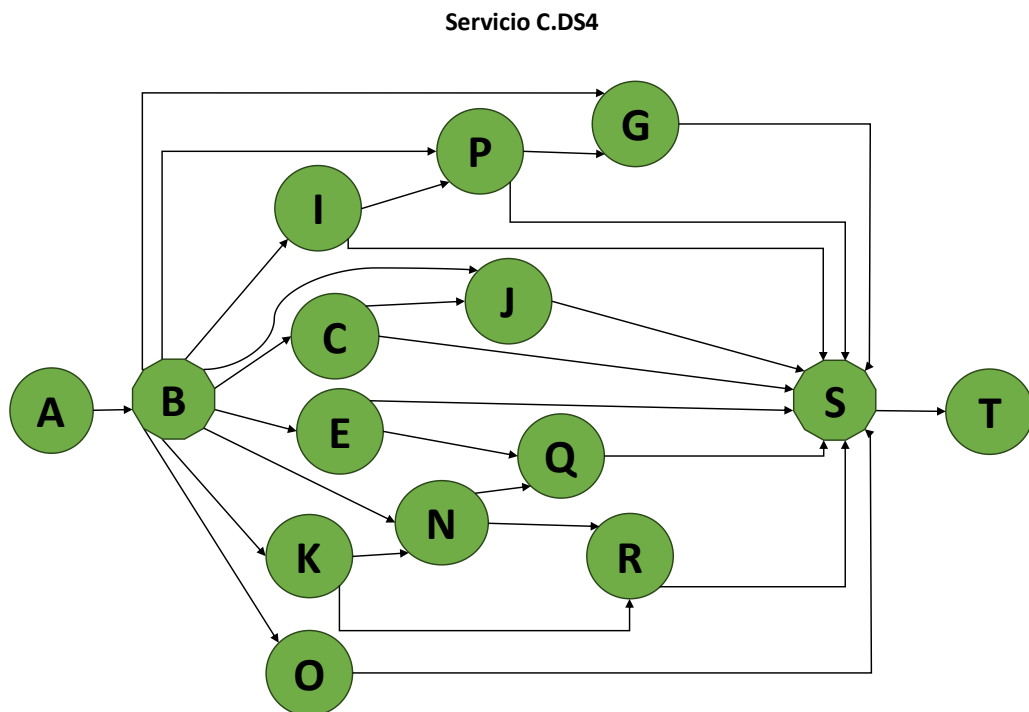


Gráfico 3-12: Diagrama PERT servicio critico C.DS4.

En el grafico 3-12, se observa el diagrama PERT para el servicio Fe.C, donde se aprecian las diferentes interacciones entre las actividades para completar este servicio.

3.3 Mapeo del flujo de valor.

Con los datos expuestos anteriormente, se procedió a clasificar los diferentes servicios que ofrece el laboratorio por cantidad de ingresos, dentro de los que se destacan C.U con \$ 2551.7 U.F, que a su vez es el servicio que más se realiza con un número de 1501 muestras, le sigue el servicio Fe.C con ingresos por \$ 2078.7 U.F con un total 1014 muestras y por último el servicio C.DS4 con ingresos por \$ 1410.15 U.F con un total de 553 muestras.

De estos 3 servicios se estimó su tiempo de finalización a partir de sus rutas críticas, donde el servicio C.U requerirá 15.5 +/- 0.9 días según sus actividades, el servicio Fe.C requerirá 13.33 +/- 0.94 días y el servicio C.DS4 requerirá 15.33 +/- 0.88 días.

Si bien el servicio C.U y el servicio C.DS4 tienen tiempos similares de entre 14 y 16 días, nos enfocaremos en el servicio C.U ya que es el que más ingresos y muestras aporta al laboratorio.

Como en los 3 servicios hay actividades en común como secado & tamizado, pH & C.E Suspensión, M. orgánica y revisión & aprobación, al optimizar algunas de estas tareas, impactara positivamente en todos los servicios.

Una vez definido el servicio que se priorizará, que en este caso será el servicio C.U por ser el que mayor ingreso y muestras aporta al laboratorio, se realiza la implementación de un mapa de flujo de valor, basado en diagramas de flujo, que tiene la finalidad de poder visualizar y dar a entender cada etapa de los procesos de este servicio, desde la recepción de las muestras hasta la entrega del informe final al cliente. Con esta herramienta también se busca identificar los posibles cuellos de botella y las ineficiencias dentro del flujo de trabajo.

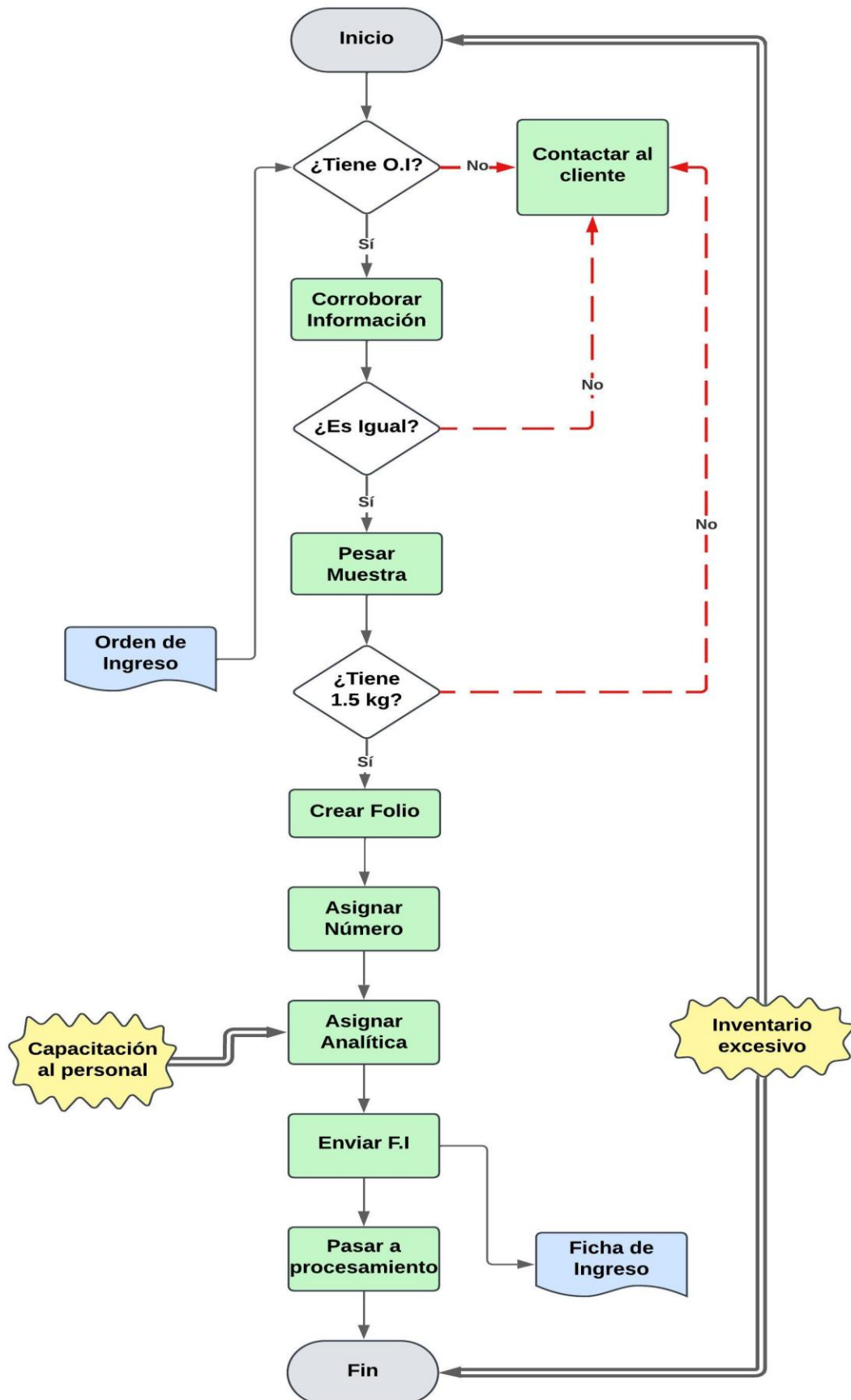


Ilustración 3-3: Diagrama de flujo proceso recepción de muestras.

En la ilustración 3-3, se observa el diagrama de flujo del proceso de recepción de muestras, donde se destaca que la etapa asignar analíticas requiere capacitación al personal, esto porque no tienen los conocimientos necesarios para diferenciar las distintas analíticas disponibles. Además, se resalta que existe inventario excesivo, ya que los ingresos no son planificados, por ende, hay días donde hay un exceso de muestras que no siempre pueden ser ingresadas el mismo día.

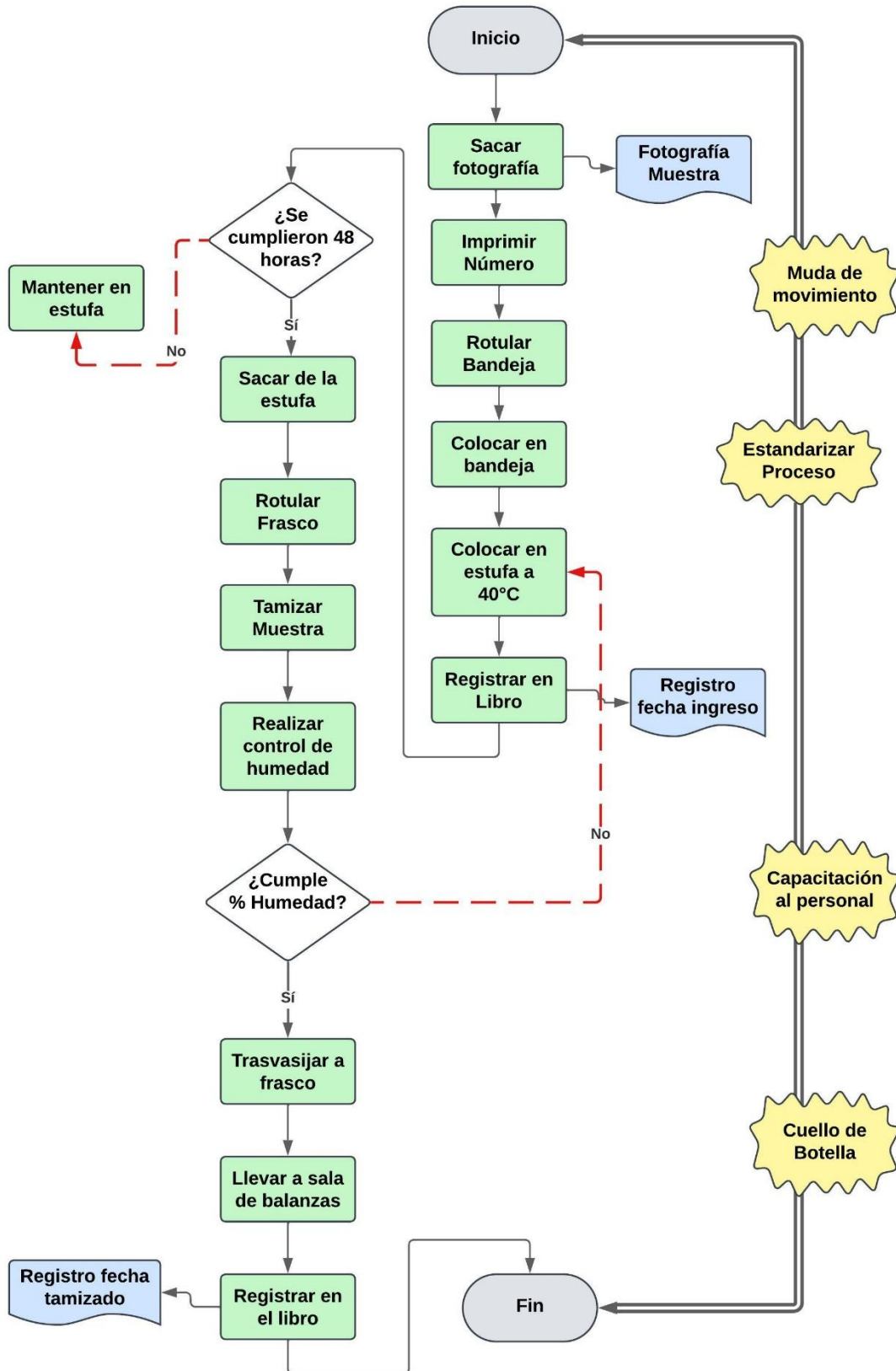


Ilustración 3-4: Diagrama de flujo procesamiento de muestras.

En la ilustración 3-4, se observa el diagrama de flujo del procesamiento de muestras, donde se destaca que el proceso requiere ser estandarizado. También es un cuello de botella para el proceso general, ya que si se atrasa la entrega de los suelos tamizados no se pueden realizar los análisis. Tiene muda de movimiento ya que el auxiliar realiza constantes desplazamientos para ir a buscar las muestras a la estufa de secado y requiere una capacitación para el personal cuando se haya estandarizado el proceso.

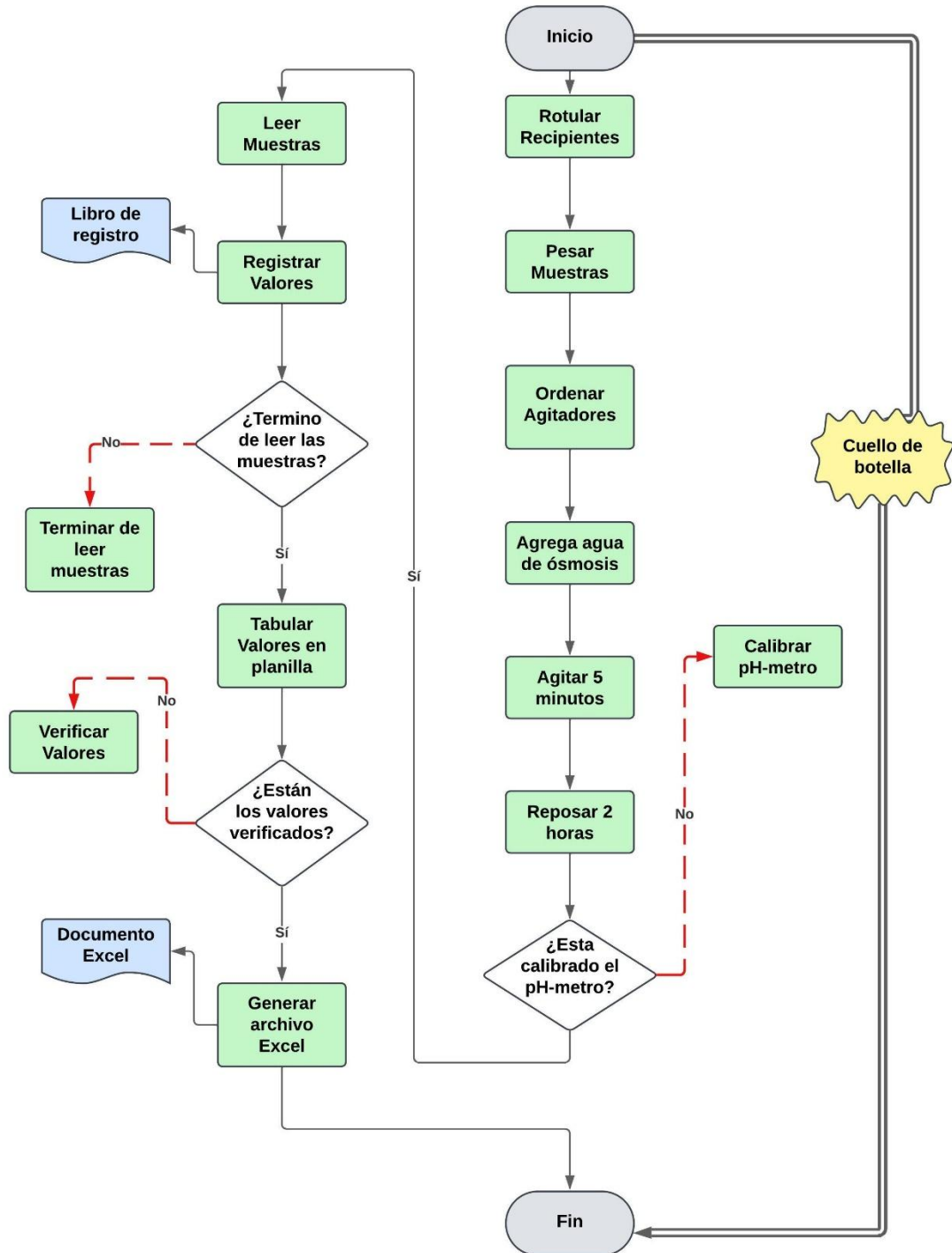


Ilustración 3-5: Diagrama de flujo análisis de pH.

En la ilustración 3-5, se observa el diagrama de flujo del proceso de análisis de pH, donde se destaca que el proceso es un cuello de botella para el análisis de materia orgánica, ya que sin el pH no se pueden cargar los resultados, lo anterior porque dependiendo del pH de la muestra se aplica un factor y como se pueden realizar una mayor cantidad de materias orgánicas, quedaran atrasadas.

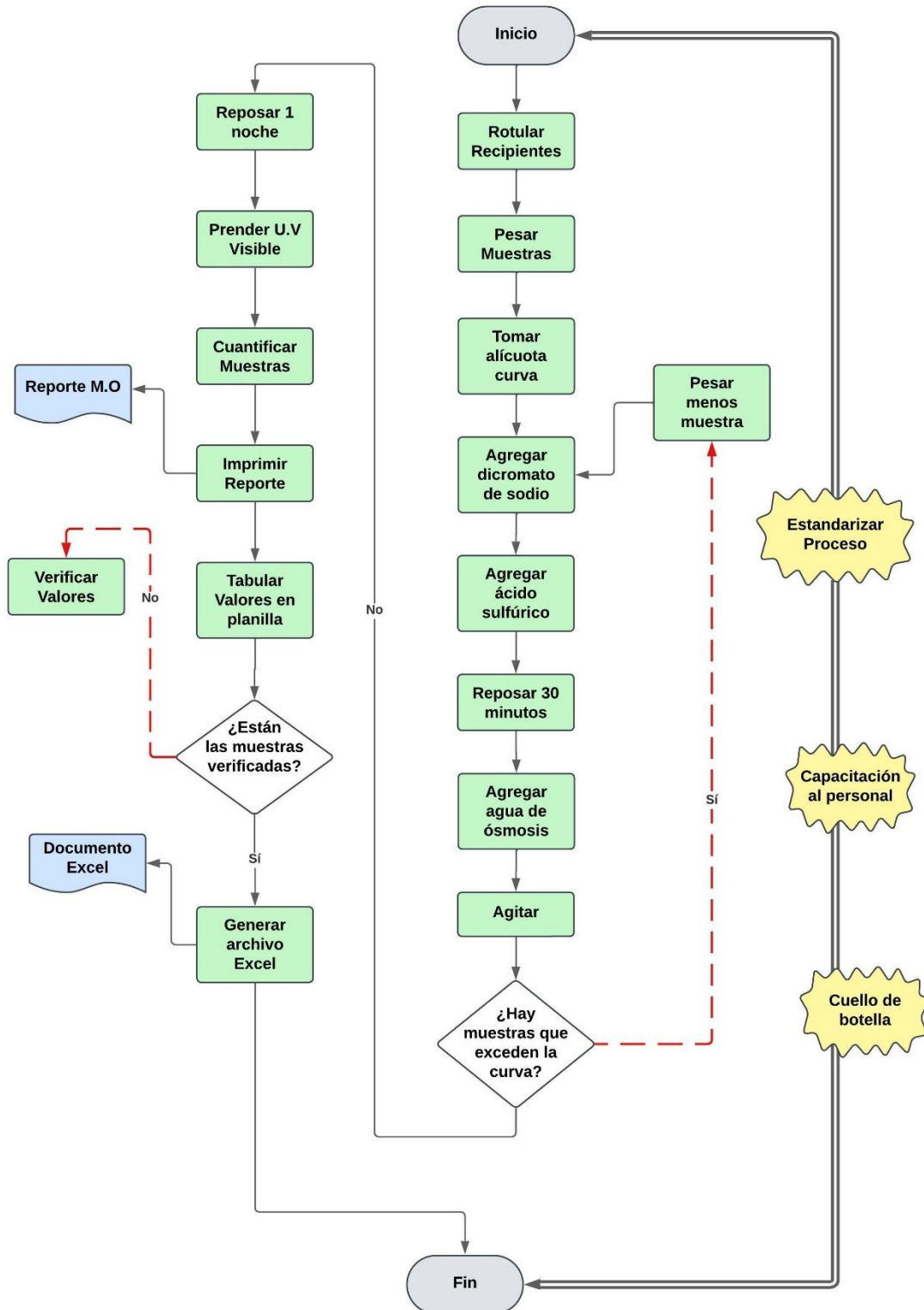


Ilustración 3-6: Diagrama de flujo análisis de materia orgánica.

En la ilustración 3-6, se observa el diagrama de flujo del proceso de análisis de materia orgánica, donde se destaca que el proceso requiere ser estandarizado. También es un cuello de botella, específicamente para el análisis de textura, ya que sin el análisis de materia orgánica no se pueden cargar los datos de texturas, lo anterior porque dependiendo de la materia orgánica de la muestra, se debe realizar otro proceso para la textura. Luego requiere una capacitación para el personal cuando se haya estandarizado el proceso.

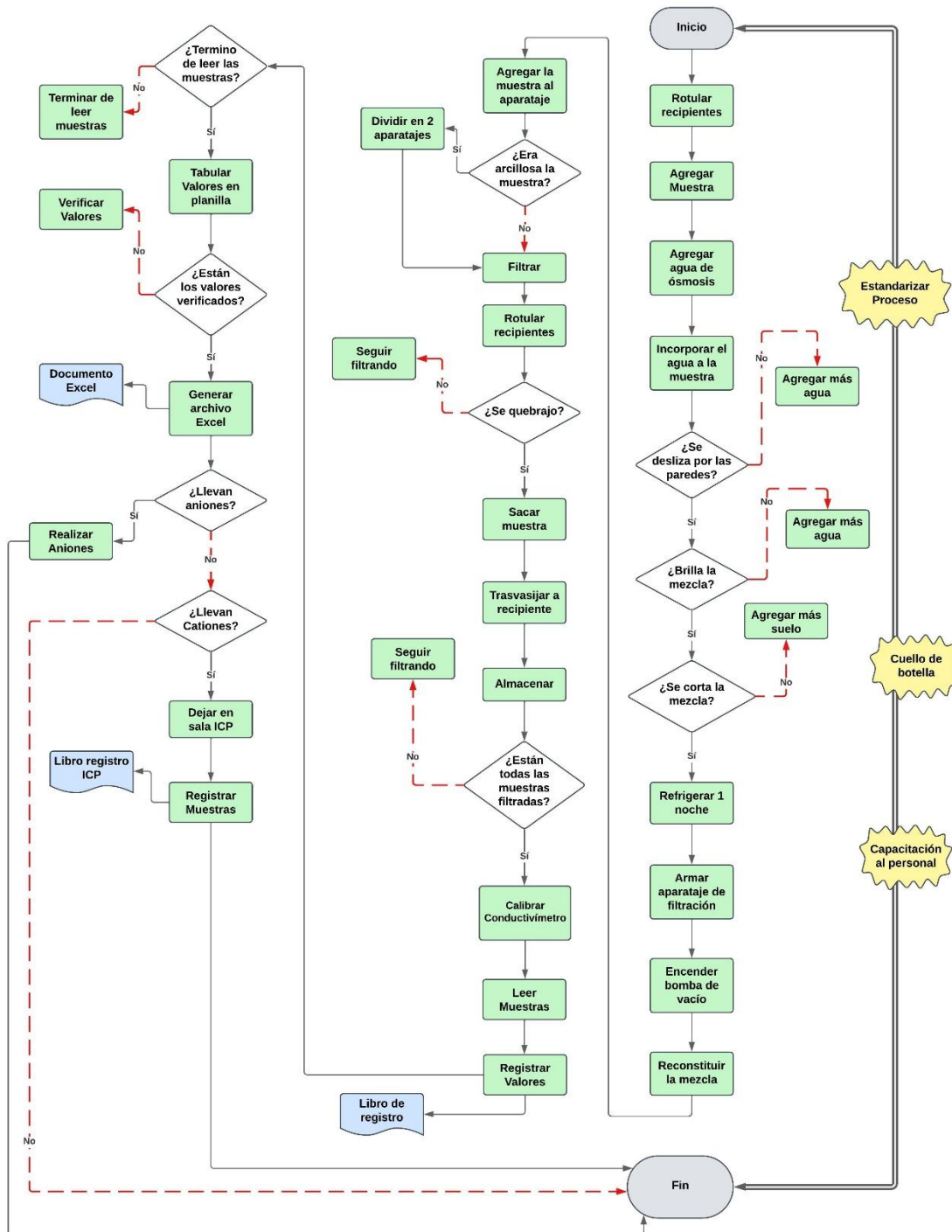


Ilustración 3-7: Diagrama de flujo análisis de pastas de saturación.

En la ilustración 3-7, se observa el diagrama de flujo del proceso de análisis de pastas de saturación, donde se destaca que el proceso requiere ser estandarizado. También es un cuello de botella, ya que al ser un análisis extenso que requiere varias etapas, si no se cumple cierta planificación empieza a quedar rezagado, complicando las siguientes etapas del proceso como lo son la lectura en ICP y la realización de aniones en el caso de ser solicitadas. Luego requiere una capacitación para el personal cuando se haya estandarizado el proceso.

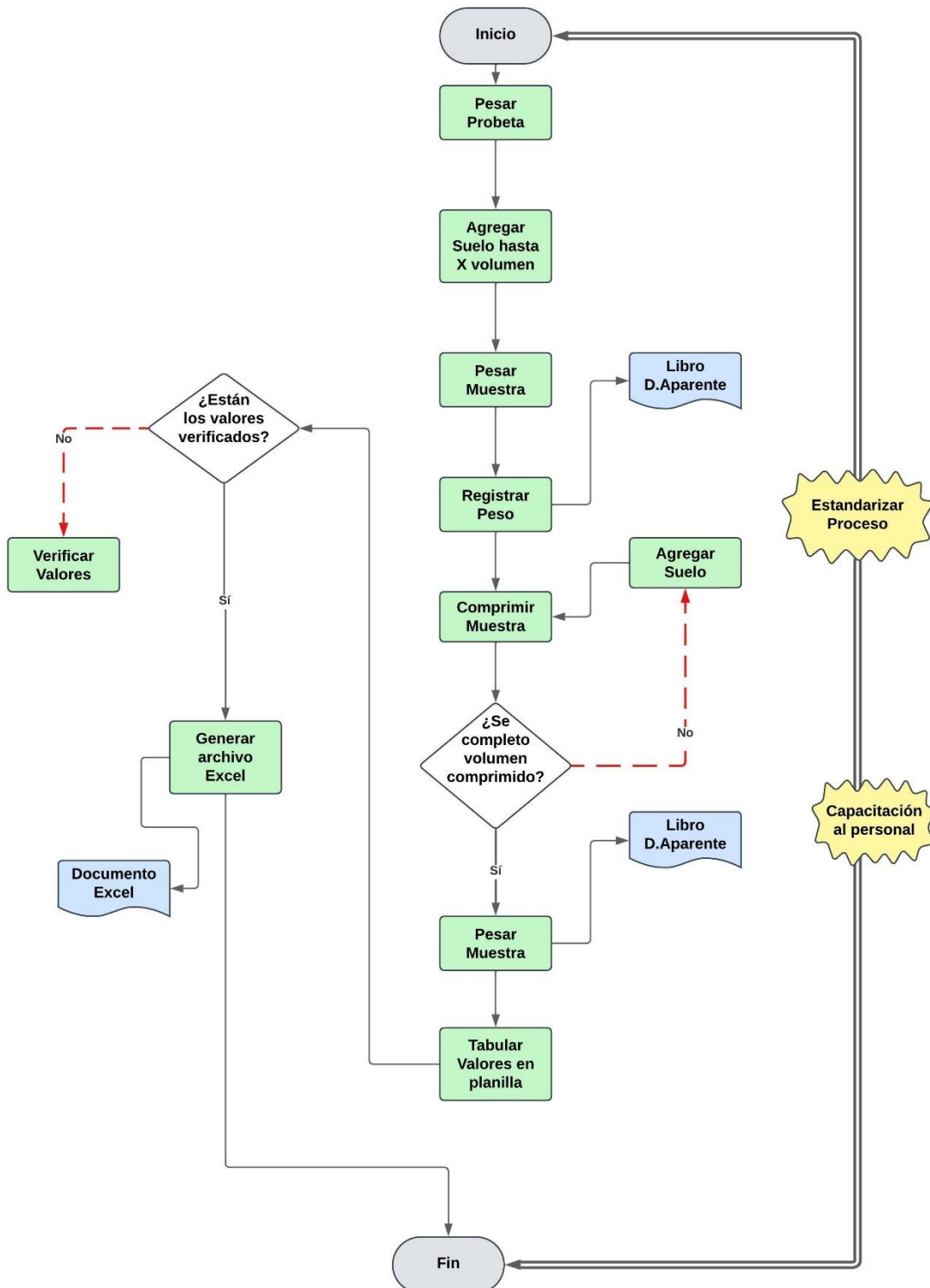


Ilustración 3-8: Diagrama de flujo análisis de densidad aparente.

En la ilustración 3-8, se observa el diagrama de flujo del proceso de análisis de densidad aparente, donde se destaca que el proceso requiere ser estandarizado, ya que no está la metodología clara para todo el personal. Luego requiere una capacitación cuando se haya estandarizado el proceso.

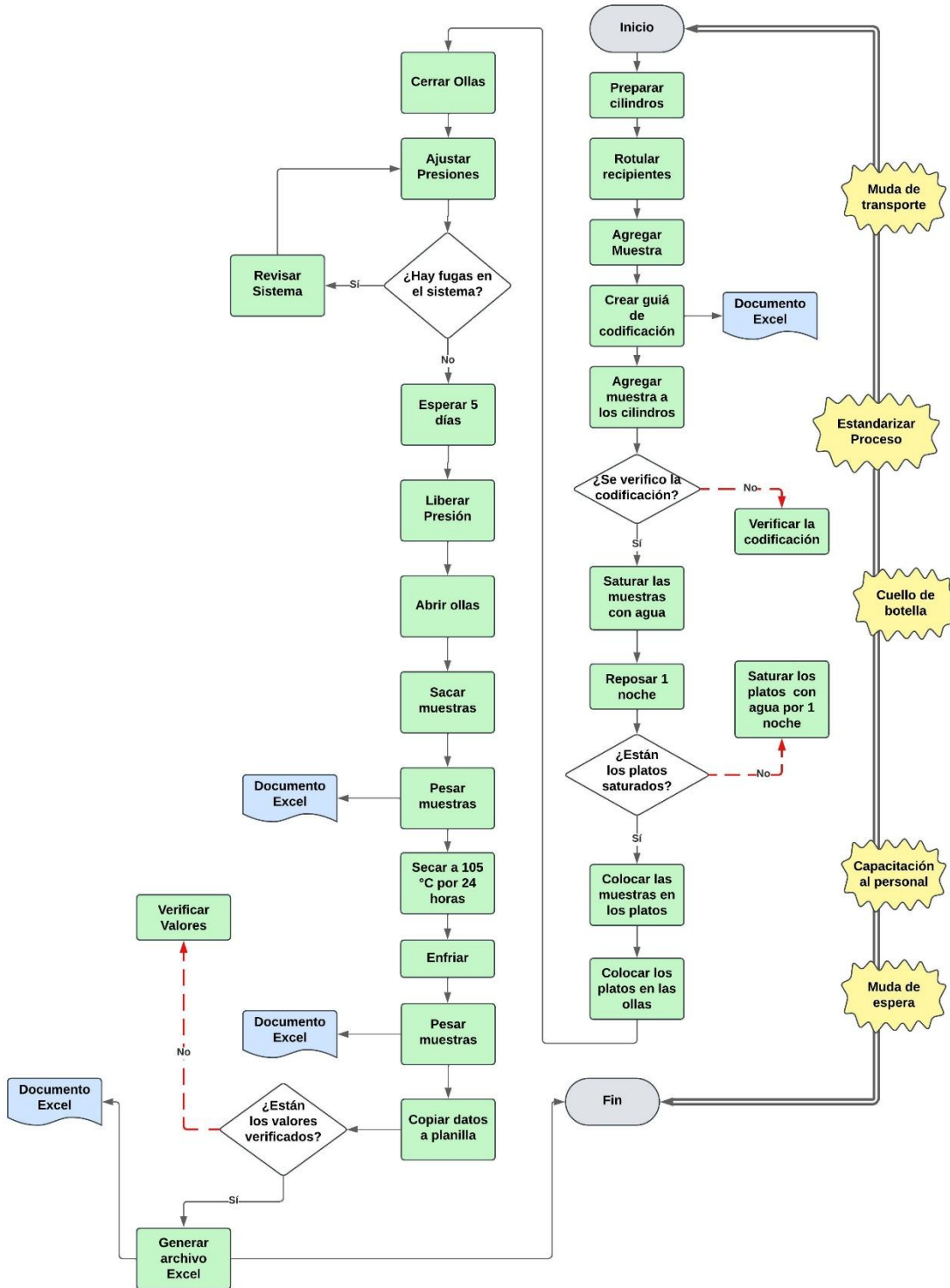


Ilustración 3-10: Diagrama de flujo análisis de retención de humedad.

En la ilustración 3-10, se observa el diagrama de flujo del proceso de análisis de retención de humedad, donde se destaca que el proceso requiere ser estandarizado. También es un cuello de botella, ya que al ser un análisis extenso que requiere un tiempo prolongado de ejecución (muda de espera) y teniendo limitación de equipo, si no se cumple cierta planificación empieza a quedar rezagado, complicando la ejecución de las siguientes muestras. Además, debido a sus diferentes etapas, se requiere desplazamientos de las muestras entre diferentes salas (muda de transporte). Luego requiere una capacitación para el personal cuando se haya estandarizado el proceso.

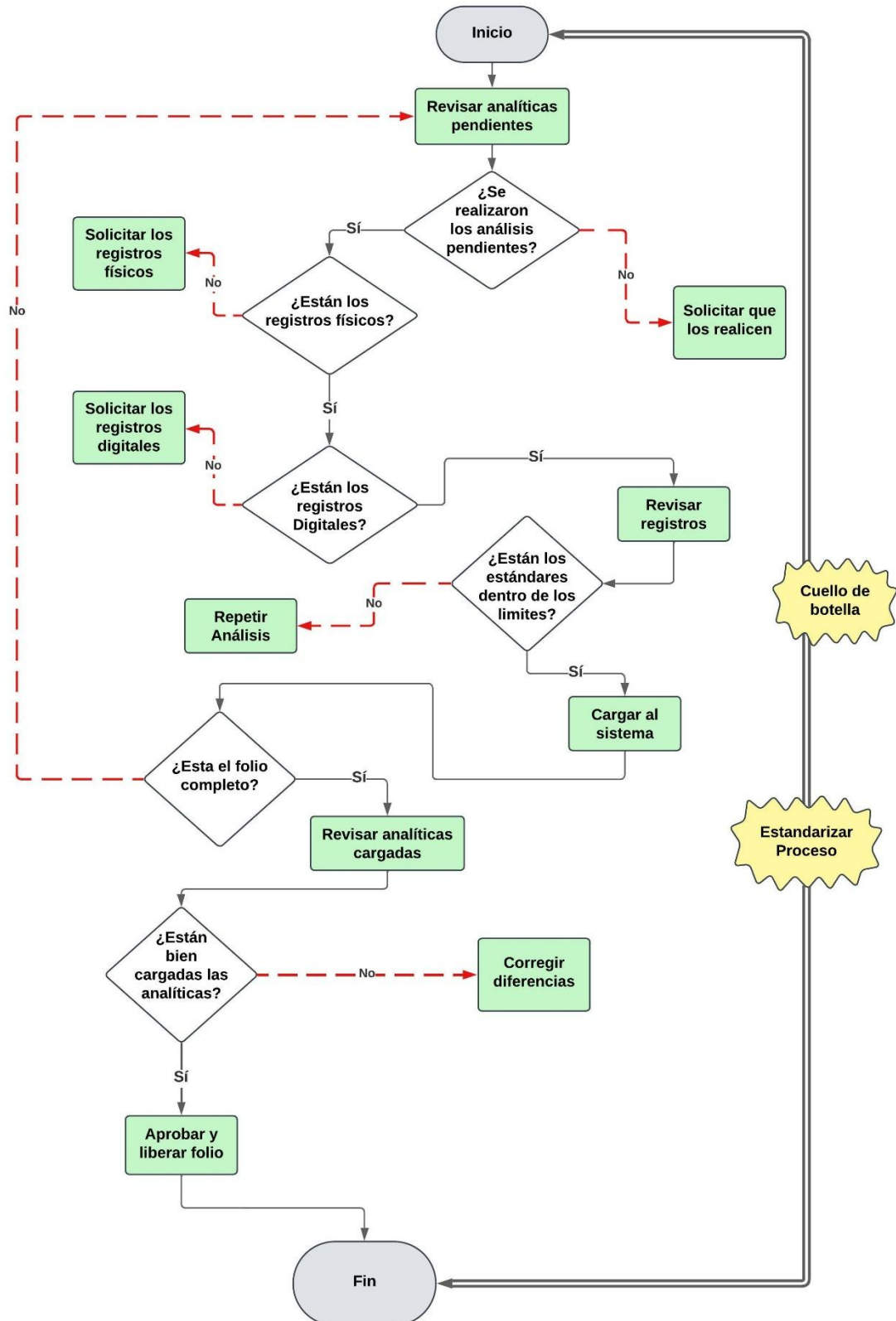


Ilustración 3-11: Diagrama de flujo aprobación y liberación de folios.

En la ilustración 3-11, se observa el diagrama de flujo del proceso de aprobación y liberación de folios o resultados, donde se destaca que el proceso requiere ser estandarizado. También es un cuello de botella, ya que al tener que revisar una gran cantidad de reportes e informes y no contar con la disponibilidad de tiempo adecuado, no se alcanza a terminar con la revisión de los reportes y folios, generando demora en la liberación de los resultados. Luego requiere una capacitación para el personal cuando se haya estandarizado el proceso.

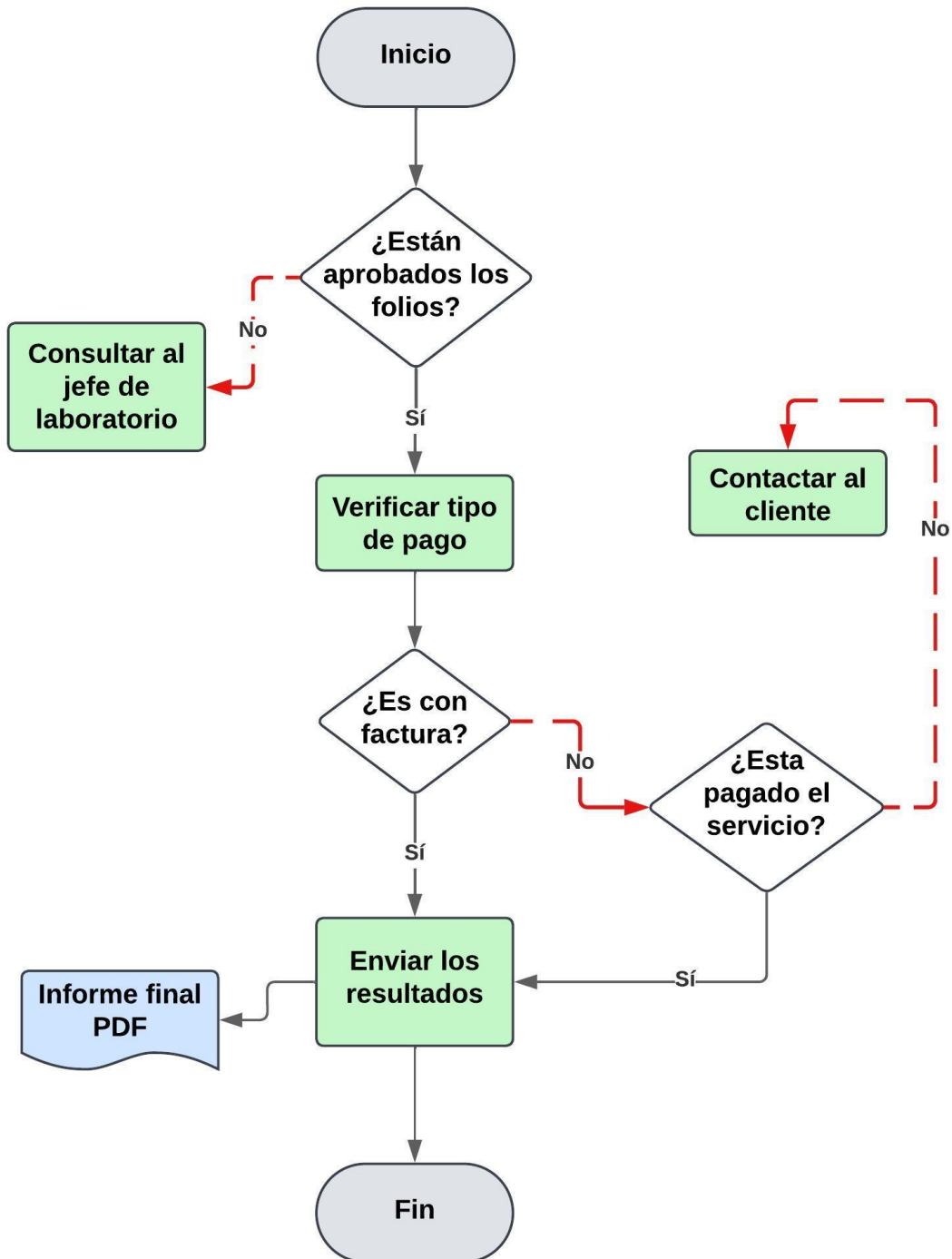


Ilustración 3-12: Diagrama de flujo envío de resultados.

En la ilustración 3-12, se observa el diagrama de flujo del proceso de envío de resultados. Este proceso está estandarizado, la única complicación que tiene va a depender de si se paga con crédito (factura) o contra entrega de resultados.

Diagrama de Ishikawa

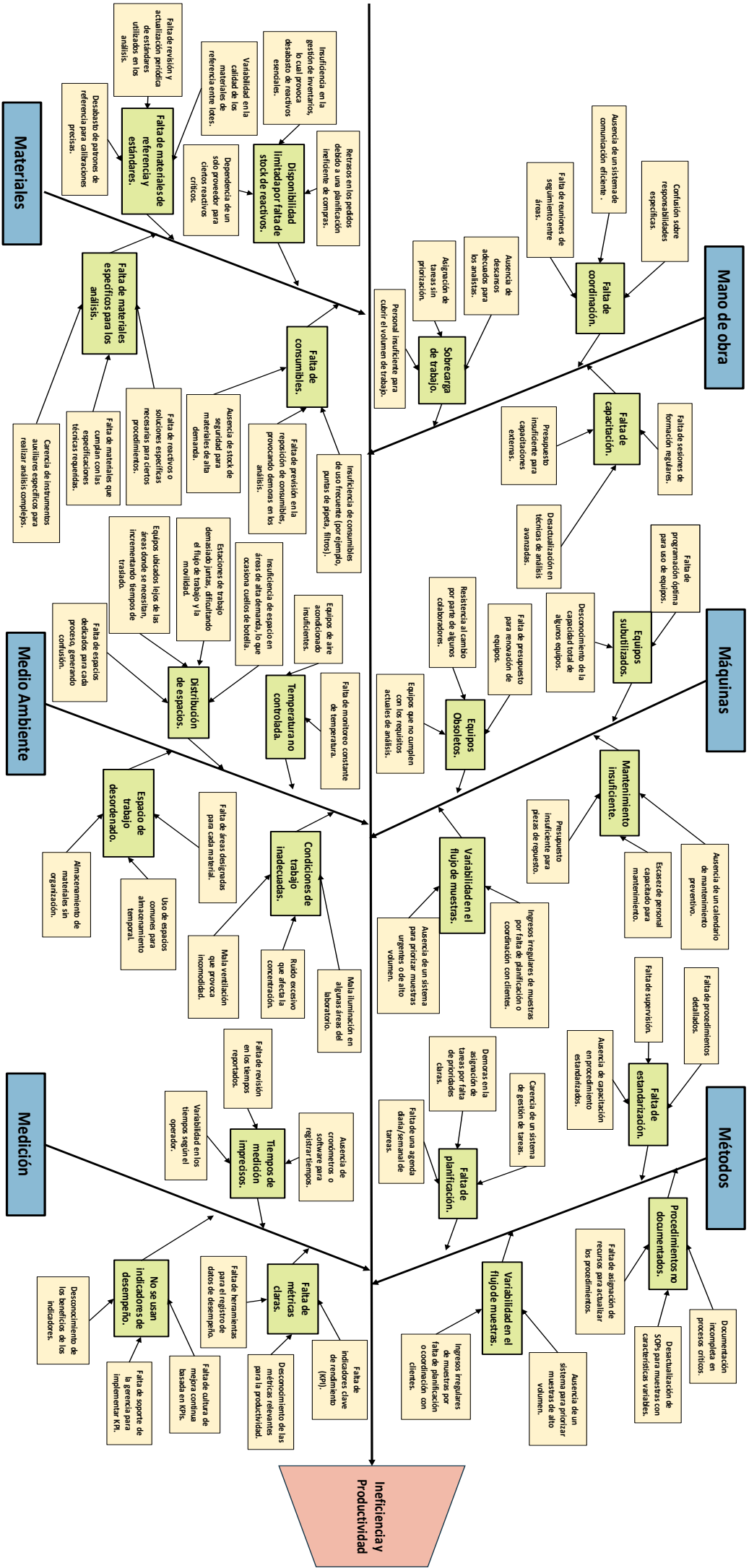


Ilustración 3-13: Diagrama Ishikawa Ineficiencia y Productividad.

En la ilustración 3-13, se observa el diagrama de Ishikawa con sus 6 M para las posibles causas que generan ineficiencia y afectan la productividad.

Para realizar el diagrama de Ishikawa se utilizó una lluvia de ideas en cada categoría que pueden influir en la productividad y generar ineficiencia. Con los datos obtenidos se realizaron las siguientes tablas:

Categoría	Impacto	Frecuencia	Facilidad de solución	Total
Métodos	5	4	-	20
Máquinas	3	2	-	6
Hombres	3	3	-	9
Materiales	3	3	-	9
Medio Ambiente	4	3	-	12
Medición	4	4	-	16

Tabla 3-13: Asignación de criticidad a categorías del diagrama de Ishikawa.

En la tabla 3-13, se observa las categorías que tienen mayor impacto en la causa son en primer lugar Métodos con 20 puntos, seguido de Medición con 16 puntos y Medio Ambiente con 12 puntos.

A partir de la tabla anterior, se seleccionaron las 3 categorías con mayor puntuación para evaluar su composición.

Medición: Subcategorías	Impacto	Frecuencia	Facilidad de solución	Total
Falta de métricas claras	-	-	-	180
Falta de indicadores clave de rendimiento (KPI).	5	4	3	60
Falta de herramientas para el registro de datos de desempeño.	5	4	3	60
Desconocimiento de las métricas relevantes para la productividad.	5	4	3	60
Tiempos de medición imprecisos	-	-	-	117
Ausencia de cronómetros o software para registrar tiempos.	3	1	3	9
Falta de revisión en los tiempos reportados.	4	4	3	48
Variabilidad en los tiempos según el operador.	5	4	3	60
No se usan indicadores de desempeño	-	-	-	120
Falta de cultura de mejora continua basada en KPIs.	5	4	2	40
Desconocimiento de los beneficios de los indicadores.	5	4	2	40
Falta de soporte de la gerencia para implementar KPI.	5	4	2	40

Tabla 3-14: Evaluación de ponderación de las subcategorías de medición.

En la tabla 3-14, se observa cómo se compone la categoría medición y la ponderación de las subcategorías, donde se destaca con la mayor puntuación a "falta de métricas claras" con 180 puntos, seguido de "no se usan indicadores de desempeño" con 120 puntos.

Medio Ambiente: Subcategorías	Impacto	Frecuencia	Facilidad de solución	Total
Condiciones de trabajo inadecuadas	-	-	-	30
Mala iluminación en algunas áreas del laboratorio.	4	3	1	12
Ruido excesivo que afecta la concentración.	3	2	1	6
Mala ventilación que provoca incomodidad.	4	3	1	12
Espacio de trabajo desordenado	-	-	-	88
Falta de áreas designadas para cada material.	4	4	2	32
Almacenamiento de materiales sin organización.	4	4	2	32
Uso de espacios comunes para almacenamiento temporal.	3	4	2	24
Temperatura no controlada	-	-	-	49
Equipos de aire acondicionado insuficientes.	4	3	2	24
Falta de monitoreo constante de temperatura.	4	3	2	24
Ubicación del laboratorio en un área de clima extremo.	1	1	1	1
Distribución de espacios	-	-	-	132
Equipos ubicados lejos de las áreas donde se necesitan, incrementando tiempos de traslado.	4	3	3	36
Falta de espacios dedicados para cada proceso, generando confusión.	5	4	2	40
Estaciones de trabajo demasiado juntas, dificultando el flujo de trabajo y la movilidad.	4	3	2	24
Insuficiencia de espacio en áreas de alta demanda, lo que ocasiona cuellos de botella .	4	4	2	32

Tabla 3-15: Evaluación de ponderación de las subcategorías de medio ambiente.

En la tabla 3-15, se observa cómo se compone la categoría medio ambiente y la ponderación de las subcategorías, donde se destaca con la mayor puntuación a “distribución de espacios” con 132 puntos, seguido de “espacio de trabajo desordenado” con 88 puntos.

Métodos: Subcategorías	Impacto	Frecuencia	Facilidad de solución	Total
Falta de estandarización	-	-	-	127
Falta de manuales de procedimientos detallados.	5	4	3	60
Ausencia de capacitación en procedimientos estandarizados.	5	4	2	40
Falta de supervisión y auditoría de procedimientos.	3	3	3	27
Procedimientos no documentados	-	-	-	75
Documentación incompleta en ciertos procesos críticos.	5	3	3	45
Falta de asignación de recursos para actualizar los procedimientos.	3	2	1	6
Desactualización de SOPs para muestras con características variables.	4	3	2	24
Falta de planificación	-	-	-	60
Falta de una agenda diaria/semanal de tareas.	3	3	3	27
Carencia de un sistema de gestión de tareas.	3	3	1	9
Demoras en la asignación de tareas por falta de prioridades claras.	4	3	2	24
Variabilidad en el flujo de muestras.	-	-	-	26
Ingresos irregulares de muestras por falta de planificación o coordinación con clientes.	4	2	1	8
Ausencia de un sistema para priorizar muestras urgentes o de alto volumen.	3	2	2	12
Procesos de recepción no estandarizados, provocando acumulaciones y tiempos de espera.	3	1	2	6

Tabla 3-16: Evaluación de ponderación de las subcategorías de métodos.

En la tabla 3-16, se observa cómo se compone la categoría métodos y la ponderación de las subcategorías, donde se destaca con la mayor puntuación a “falta de estandarización” con 127 puntos, seguido de “procedimientos no documentados” con 75 puntos.

Con la subcategorización y ponderación realizada establecemos el porcentaje de contribución de cada subcategoría a la categoría principal.

Categoría	Subcategoría	Porcentaje
Medición	Falta de métricas claras	43.17
	Tiempos de medición imprecisos	28.06
	No se usan indicadores de desempeño	28.77
Medio Ambiente	Condiciones de trabajo inadecuadas	10.03
	Espacio de trabajo desordenado	29.43
	Temperatura no controlada	16.39
	Distribución de espacios	44.15
Métodos	Falta de estandarización	44.10
	Procedimientos no documentados	26.04
	Falta de planificación	20.83
	Variabilidad en el flujo de muestras.	9.03

Tabla 3-17: Contribución de las subcategorías en las categorías críticas.

En la tabla 3-17, se observa que en la categoría de medición "falta de métricas claras" tiene un 43.17 por ciento, en la categoría medio ambiente "distribución de espacios" tiene un 44.15 por ciento y en la categoría métodos "falta de estandarización" tiene un 44.1 por ciento.

CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA.

4.1 Desarrollo Propuesta de mejora.

Con el análisis de los datos anterior, se determinó que los más urgente en mejorar es falta de métricas claras, distribución de espacios y falta de estandarización. También se adiciona el monitoreo de graficas de control, ya que el proceso esta descontrolado. Para lo anterior se creó la siguiente tabla con propuestas que abarcan esas subcategorías encontradas.

Propuesta de mejora	Impacto (1-5)	Facilidad (1-5)
Implementar hojas de registro y creación de KPI control.	5	4
Reestructurar el espacio de trabajo (5S).	2	5
Rediseñar área tamizado con dos estaciones.	5	2
Actualizar y documentar SOP de procesos críticos.	4	3
Monitoreo con gráficos de control.	4	2

Tabla 4-1: Propuestas de mejora planteadas en base al análisis causa raíz.

En la tabla 4-1, se observan las diferentes propuestas de mejoras que nacen del análisis causa raíz clasificadas en impacto y facilidad de implementación, donde se destaca "Implementar hojas de registro y creación de KPI control" con 5 de impacto, que significa que generara un cambio notorio y 4 de facilidad de implementación, que significa que no es complicada su ejecución.

Con la tabla anterior se creó una matriz que se presenta a continuación.

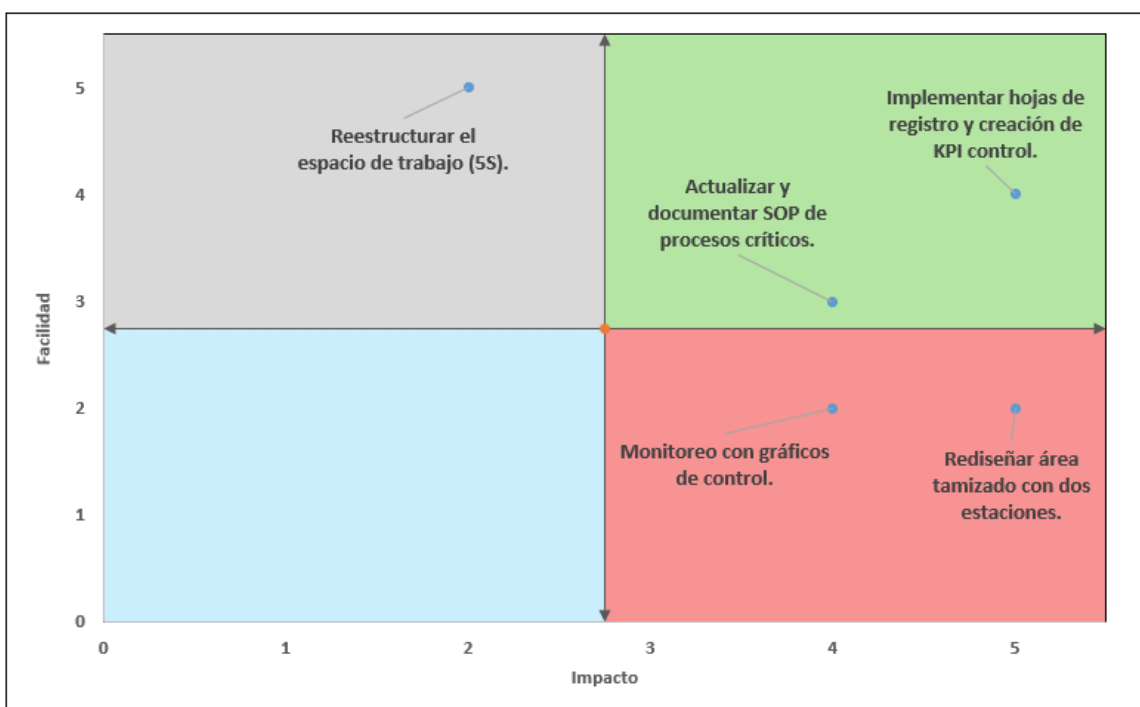


Ilustración 4-1: Matriz Impacto vs Facilidad propuestas de mejora.

En la ilustración 4-1, se observan las diferentes propuestas categorizadas por su impacto y facilidad, en el cuadrante verde se encuentran las que tienen un mayor impacto y son sencillas de implementar, en el cuadrante rojizo se encuentran las propuestas que son más complejas de realizar pero que tienen un gran impacto y en el cuadrante gris se encuentran las propuestas que son sencillas de implementar, pero no tendrán un gran impacto.

A continuación, se presentará el plan de acción basado en las propuestas de mejora.

1- Implementar hojas de registro y creación de KPIs de control.

Objetivo: Crear una base de datos constante y establecer indicadores clave de desempeño (KPI) para medir tiempos y productividad.

Actividades:

- a- Diseñar hojas de registro para cada proceso desde el tiempo que toma secar las muestras de suelo, hasta la realización de los análisis.
- b- Capacitar al personal para el uso adecuado de las hojas de registro.
- c- Consolidar la información en planillas Excel, que permitan facilitar el análisis de los datos.
- d- Definir y calcular KPIs claves, como tiempo por análisis, capacidad diaria de procesamiento y porcentaje de cumplimiento de los plazos.

KPIs Necesarios:

- a- Tiempo por análisis: Tiempo promedio para completar un análisis específico.
- b- Capacidad diaria: Número de muestras procesadas diariamente vs total de muestras disponibles para analizar.
- c- Porcentaje de cumplimiento de plazos: Proporción de procesos entregados dentro de plazos estipulados.

Responsable: supervisor de laboratorio / jefe de laboratorio.

Recursos: Hojas de registro digitales y físicas, capacitación del personal en el uso de las hojas de registros.

Plazo: 3 semanas.

2- Reestructurar el espacio de trabajo (5S).

Objetivo: Mejorar el orden y la eficiencia en el espacio de trabajo mediante la implementación de la metodología 5S.

Actividades:

- a- Realizar un diagnóstico inicial del estado de los distintos espacios de trabajo.
- b- Clasificar y eliminar elementos innecesarios (Seiri).
- c- Organizar y etiquetar herramientas y equipos (Seiton).
- d- Limpiar y estandarizar las áreas de trabajo (Seiso y Seiketsu).
- e- Implementar un sistema de mantenimiento continuo (Shitsuke).

Responsable: Supervisor de laboratorio.

Recursos necesarios: Etiquetas, estanterías, material de limpieza, tiempo del equipo de trabajo.

Plazo: 4 semanas.

3- Rediseñar el área de tamizado con dos estaciones de trabajo.

Objetivo: Optimizar el tiempo de procesamiento de muestras, implementando dos estaciones de tamizado.

Actividades:

- a- Diseñar la reestructuración del espacio actual de tamizado.
- b- Reasignar e instalar el equipamiento necesario para la reestructuración del espacio de tamizado.
- c- Capacitar al equipo de procesamiento de muestras en el uso de las nuevas instalaciones.
- d- Monitorear la eficiencia de las 2 estaciones de trabajo.

Responsable: jefe de laboratorio.

Recursos necesarios: Espacio reestructurado, equipamiento necesario para tamizar en 2 estaciones de trabajo, capacitación del equipo de procesamiento de muestras.

Plazo: 8 semanas.

4- Actualizar y documentar los procedimientos operativos estándar de procesos críticos.

Objetivo: Estandarizar y documentar los procedimientos operativos estándar en procesos claves para reducir errores y variabilidad.

Actividades:

- a- Documentar procedimientos actualizados y detallados.
- b- Capacitar al equipo en los nuevos procedimientos operativos estándar.

c- Implementar auditorías internas periódicas para verificar el cumplimiento.

Responsable: supervisor de laboratorio / jefe de laboratorio.

Recursos necesarios: Tiempo para revisión y documentación, capacitación del equipo de trabajo.

Plazo: 6 semanas.

5- Monitoreo con gráficos de control.

Objetivo: Estabilizar los procesos identificados y controlar la variabilidad.

Actividades:

- a- Registrar los tiempos de cada proceso en hojas de control.
- b- Crear graficas de control para visualizar la variabilidad y tendencias.
- c- Analizar los resultados para identificar causas de variabilidad.

KPIs necesarios:

- a- Variabilidad de tiempo: Desviación de los tiempos por proceso.
- b- Porcentaje de estabilidad del proceso: Proporción de procesos dentro de límites de control.

Responsable: jefe de laboratorio.

Recursos necesarios: Plantillas de gráficos de control

Plazo: 4 Semanas para la implementación inicial.

Estrategia de estabilización y optimización del proceso.

Fase de estabilización:

Plazo objetivo: Reducir los tiempos actuales de 17 días en promedio a un tope máximo de 15 días hábiles a partir de las mejoras implementadas.

Tiempo estimado para la estabilización: 6 meses.

Fase de optimización gradual:

Meta final: Alcanzar 12 días hábiles de entrega de resultados.

Estrategia: Reducir 1 día cada 8 meses, dependiendo del flujo de muestras ingresadas.

4.2 Evaluación de la factibilidad.

En este apartado se analiza la factibilidad económica de las propuestas planteadas en este proyecto, a partir de costos directos, costos indirectos y los beneficios esperados.

Los costos directos son los que están relacionados con mano de obra, materiales, herramientas, software.

Los costos indirectos son los que están relacionados con las detenciones o interrupciones parciales de los procesos durante la implementación.

Los beneficios económicos esperados son los que están relacionados con el ahorro en tiempo, reducción de desperdicios, mejora en la eficiencia y productividad del laboratorio.

Dentro de la investigación que se realizó, se llegó a la siguiente información de costos.

Propuesta	Tarea	Costo Directos U.F	Costos indirectos U.F	Costo total U.F
Hojas de registro y KPI	Generar hojas de registro	9.47	4.74	14.21
	Capacitación	6.60	3.30	9.89
Reestructurar el espacio (5S)	Limpieza	10.49	5.24	15.73
Rediseñar área tamizado	Diseño	4.47	2.23	6.70
	Capacitación	3.04	1.52	4.57
	Equipamiento	422.09	3.13	425.22
Actualización y documentación SOP	Tiempo de revisión	7.10	3.55	10.66
	Tiempo de documentación	12.45	6.22	18.67
	Capacitación	6.60	3.30	9.89
Monitoreo con gráficos de control	Creación plantillas	5.41	2.71	8.12
Total U.F		487.72	35.94	523.66

Tabla 4-2: Tabla de costos propuestas de mejoras presentadas.

En la tabla 4-2, se observan los costos asociados a las distintas tareas por propuestas y el costo total del proyecto que asciende al monto de 523.66 U.F.

Dentro del análisis de costos, se visualiza que la propuesta de rediseño del área de tamizado es la más costosa, y esto se debe a la adquisición de equipamiento específicos para cumplir esta tarea y que son fundamentales como el mesón de acero templado con revestimiento estructural para realizar la maniobra de tamizado, el mortero de teflón para evitar contaminación, ya que este material es inerte, los tamices adecuados, que en este caso son mallas de apertura de 2 milímetros, la creación de divisiones para las dos estaciones de trabajo, la extracción para el polvo en suspensión que se genera en la tarea de tamizado, la línea de aire comprimido para sopletear tanto el mortero, como el tamiz y los frascos, la adquisición de frascos de almacenaje y bandejas de secado, y por último, la adquisición de una estufa de aire forzado para el secado las muestras.

En el caso de los costos indirectos se asume un 50% del valor por hora como costo indirecto, ya que durante las capacitaciones la operación no se detiene completamente, pero sí se ralentiza, generando costos de ineficiencia y uso parcial de recursos fijos.

Para calcular el beneficio esperado tenemos que considerar la cantidad de muestras que no desaparecerán debido a la tendencia a la baja por incumplimiento, para esto suponemos que se sigue la tendencia de una pérdida de 15 por ciento. Considerando una base de 5828 muestras, 874 muestras corresponderían al 15 por ciento, pero como siempre puede haber variaciones, consideraremos 2 escenarios:

- A- Que perdemos un 5 por ciento de las muestras que equivale a 291 muestras y logramos mantener el otro 10 por ciento que equivale a 583 muestras.
- B- Que perdemos un 10 por ciento de las muestras que equivale a 583 muestras y logramos mantener el otro 5 por ciento que equivale a 291 muestras.

Si consideramos un valor promedio por muestra de 1.452 U.F, el monto ganado equivale a 846.516 UF en el caso A y en el caso B sería de 422.532 U.F, lo que corresponde al beneficio esperado por cada caso.

Con los datos de costos del proyecto y beneficio esperado, podemos calcular el beneficio neto, para esto utilizaremos la fórmula:

$$\text{BENEFICIO NETO} = \text{BENEFICIO ESPERADO} - \text{COSTO DE LA INVERSIÓN}$$

El beneficio neto es:

$$\text{BENEFICIO NETO CASO A AÑO 1} = 846.516 \text{ U.F} - 523.66 \text{ U.F}$$

$$\text{BENEFICIO NETO} = 322.856 \text{ U.F}$$

$$\text{BENEFICIO NETO CASO B AÑO 1} = 422.532 \text{ U.F} - 523.66 \text{ U.F}$$

$$\text{BENEFICIO NETO} = -101.128 \text{ U.F}$$

Debido a que el caso B da negativo al primer año, hay que calcular cuando se vuelve rentable el proyecto, para eso planteamos 2 diferentes escenarios de carácter conservador para visualizar como sería el retorno del dinero invertido para este proyecto, situación más realista, ya que el mercado no es lineal ni estable.

Muestras Iniciales	Escenario	Item	Año 1	Año 2	Año 3
4954	A: Aumento 2% número de muestras	Número de muestras	291	105	107
		Ingresos U.F	422.532	152.46	155.364
4954	B: Aumento de 2.5% número de muestras	Número de muestras	291	131	134
		Ingresos U.F	422.532	190.212	194.568

Tabla 4-3: Escenarios caso B proyección de aumento de muestras.

En la tabla 4-3, se observa los ingresos proyectados hasta el año 3, en función de un aumento de muestras de un 2 y un 2.5 por ciento.

Con la información obtenida se calcula el beneficio esperado y el beneficio neto.

Escenario	Valor proyecto U.F	Beneficio esperado año 2 U.F	Beneficio esperado año 3 U.F	Beneficio neto año 2 U.F	Beneficio neto año 3 U.F
A	523.66	574.992	730.356	51.332	206.696
B	523.66	612.744	807.312	89.084	283.652

Tabla 4-4: Beneficio esperado y neto caso B en base al aumento de muestras.

En la tabla 4-4, se observa el beneficio esperado y el beneficio neto en U.F para el escenario A y B proyectado a 2 y 3 años.

Con los datos de costos del proyecto y beneficio neto se calcula el retorno de la inversión (ROI), para esto utilizaremos la formula básica del ROI:

$$\text{ROI} = (\text{BENEFICIO NETO} / \text{COSTO DE LA INVERSIÓN}) * 100$$

Casos	Valor proyecto U.F	Año 1	Año 2	Año 3
ROI Caso A	523.66	61.65	-	-
ROI Caso B	523.66	-19.31	-	-
ROI Caso B: Escenario A	523.66	-	9.80	39.47
ROI Caso B: Escenario B	523.66	-	17.01	54.17

Tabla 4-5: Retorno de inversión casos planteados.

En la tabla 4-5, se observa el retorno de inversión para los diferentes casos y escenarios generados para el proyecto, donde se destaca el caso A, que al primer año genera un 61,65 por ciento de retorno y para el caso B, necesita 2 años para generar

un retorno de 9,8 por ciento en el escenario más conservador, un aumento de 2 por ciento en la cantidad de muestras por año luego del primer año.

Con los datos de costos del proyecto e ingresos se calcula el valor actual neto (VAN), para esto utilizaremos la formula del VAN:

$$VAN = \frac{R_t}{(1 + i)^t}$$

- R_t = Flujo de caja neto para el periodo t.
- i = Tasa de interés.
- t = Periodo del flujo de caja.

Caso	Año 1	Año2	Año3
VAN Caso A	\$267.48	-	-
VAN Escenario A	-\$128.77	\$4.39	\$131.22
VAN Escenario B	-\$128.77	\$37.37	\$196.19

Tabla 4-6: Valor actual neto casos planteados.

En la tabla 4-6, se observa el valor actual neto para los diferentes casos y escenarios generados para el proyecto, donde se destaca el caso A que al primer año ya presenta un valor positivo lo que hace rentable el proyecto a diferencia del caso B, que recién a partir del segundo año presenta valores positivos.

Con los datos de costos del proyecto e ingresos se calcula la tasa interna de retorno (TIR).

Caso	Año 1	Año2	Año3
TIR Caso A	62%	-	-
TIR Escenario A	-19%	8%	24%
TIR Escenario B	-19%	13%	30%

Tabla 4-7: Tasa interna de retorno casos planteados.

En la tabla 4-7, se observa la tasa interna de retorno para los diferentes casos y escenarios generados para el proyecto, donde se destaca el caso A que en el primer año ya genera un 62 por ciento de retorno, lo que lo hace un proyecto viable.

Con los antecedentes anteriores podemos afirmar que en el escenario más conservador correspondiente solo a retener un 5 por ciento de las perdidas proyectadas (15 por ciento) y con un aumento el segundo año de solo un 2 por ciento en la cantidad de muestras, el proyecto es viable y rentable al segundo año de su implementación.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.

Con base en los objetivos establecidos en esta propuesta podemos señalar que:

La falta de estandarización es una de las principales causas de variación en los procesos críticos, lo que repercute considerablemente en la calidad del servicio ofrecido y en los tiempos de entrega de los informes a los clientes. Este problema afecta principalmente a las áreas de procesamiento de muestras y análisis fisicoquímicos.

El análisis interno evidencio que en pocas ocasiones se realiza una retroalimentación para dar a conocer el desempeño de las diferentes tareas, lo que dificulta programas de capacitación para mejorar los resultados.

La capacidad del laboratorio está comprometida debido a limitaciones en equipamiento e infraestructura, lo que genera un aumento en la utilización de recursos humanos para cumplir con la capacidad requerida.

Se evidencio un deterioro notorio en el cumplimiento de los plazos de entrega, lo que produjo una disminución de los ingresos y la competitividad del laboratorio, además de desencantar a los clientes.

Como primer paso la estandarización de los procesos es fundamental, esto requerirá un tiempo establecido, quizás prolongado en algunos casos debido a la carga laboral, pero permitirá tener procesos más controlados estadísticamente.

La implementación de hojas de registros se hace casi una obligación para el levantamiento de la información, con esta información se puede tomar acciones si se nota desviaciones en los procesos luego de la estandarización.

Controlar los procesos mediante cartas control es un paso más que permite la mejora continua, considerando que el laboratorio no utiliza esta herramienta, implementarla le dará un plus para la toma de decisiones.

Aplicar de forma permanente la metodología de 5S permitirá, tener espacios de trabajos libres de objetos que dificulten la realización de las actividades, ordenados y de desplazamientos sencillos.

CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

- ASANA, Team. (7 de Febrero de 2024). *El diagrama de PERT: qué es y cómo crearlo (incluye ejemplos)*. Obtenido de ASANA: <https://asana.com/es/resources/pert-chart>
- Baena Naranjo, P. (8 de Junio de 2023). *¿Qué es la eficiencia operativa?* Obtenido de OBS Business School: <https://www.obsbusiness.school/blog/que-es-la-eficiencia-operativa>
- Baldeon Cervantes, J. Y., & Barrios Treviño, D. P. (2024). Propuesta de mejora para incrementar la eficiencia en el proceso de producción de cadenas de oro a través de las herramientas TPM y SMED en una empresa del sector joyería. (*Ingeniería de Gestión Empresarial*). Universidad Peruana de ciencias aplicadas, Lima - Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/683704>
- Burgasí Delgado, D. D., Cobo Panchi, D. V., Pérez Salazar, K. T., Pilacuan Pinos, R. L., & Rocha Guano, M. B. (2021). EL DIAGRAMA DE ISHIKAWA COMO HERRAMIENTA DE CALIDAD EN LA EDUCACIÓN: UNA REVISIÓN DE LOS ÚLTIMOS 7 AÑOS. *Tambara*, 14(84), 1212-1230. Obtenido de <https://tambara.org/ano-2021-edicion-2/>
- Cassemiro, C. (11 de Septiembre de 2024). *Diagrama de flujo del proceso de producción: ¿qué es y cómo hacerlo?* Obtenido de SYDLE: <https://www.sydle.com/es/blog/diagrama-de-flujo-del-proceso-de-produccion-65eb35e2f81cb54ff7c3b9cb>
- Contreras, G. (19 de Enero de 2023). *AMEF: evaluación de riesgos y calidad en una sola herramienta*. Obtenido de Blog QHSE: <https://www.blog-qhse.com/es/amef-evaluacion-de-riesgos-y-calidad-en-una-sola-herramienta#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20m%C3%A9todo%20AMEF,de%20que%20llegue%20al%20cliente>
- Correa Gavilanez, A. C., & Zambrano Rodriguez, M. S. (2024). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN ESTRATÉGICO DE PRODUCCIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA INDUSTRIAS METÁLICAS VILEMA IMEV INDUIMEV CIA.LTDA. (*Ingeniería Industrial*). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riombaba - Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22929>
- Delgado, O. (8 de Enero de 2023). *Qué son, para qué sirven, y cómo se implementan las cartas de control en tu Laboratorio*. Obtenido de SGC - Lab: <https://sgc-lab.com/que-son-para-que-sirven-y-como-se-implementan-las-cartas-de-control-en-tu-laboratorio/>
- Equipo de Expertos en Ciencia y Tecnología. (25 de Abril de 2023). *Herramientas de la calidad, del manejo técnico a la gestión del cambio*. Obtenido de Universidad Internacional de Valencia: <https://www.universidadviu.com/ec/actualidad/nuestros->

expertos/herramientas-de-la-calidad-del-manejo-tecnico-la-gestion-del-cambio

- Felix Gil, J. C., Gastelum Acosta, C., Soto Luzanía, X., Macias Velasquez, S., & Sanchez Lizarraga, M. (31 de 12 de 2024). Implementación de la Metodología 5S para la Mejora Continua en una Empresa Agroindustrial. *Latin American Journal of Applied Engineering*, 7(1), 8-14. doi:<https://doi.org/10.69681/lajae.v7i1.34>
- Garzón Medina, R. (2020). Participación en el Diseño de una Herramienta Computacional para el Desarrollo de la Metodología de Análisis de Modo y Efecto de Falla. (*Ingeniería Electrónica*). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogota - Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/25636>
- Gutiérrez Pulido, H. (2020). *Calidad y Productividad Quinta edición*. Guadalajara: McGraw Hill.
- Martínez Aspiros, R. M. (2024). Mejoras en gestión del hidróxido de sodio planta CIC Pampa Larga -Yanacocha para reducción del tiempo y costo de manipuleo. (*Licenciado en administración*). Universidad Nacional de Trujillo, Huamachuco - Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14414/23081>
- Miro. (2024). *Diagrama de espagueti*. Obtenido de Miro: <https://miro.com/es/plantillas/diagrama-de-espagueti/>
- Morán Montenegro, A. M., Dávila González, J. A., & Trujillo González, J. (24 de Enero de 2024). OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES EN DISTRIBUIDORA MEDIANTE PERT/CPM PARA DETERMINAR ACTIVIDADES CRÍTICAS. *TECNOCIENCIA*, 26(1), 151-164. doi:<https://doi.org/10.48204/j.tecno.v26n1.a4656>
- Moreno Jara, R. (2023). Eficiencia de la metodología Kaizen en beneficio de la productividad, competitividad y optimización en la variación de precios. (*Magister en gestion empresarial*). Universidad Técnica Federico Santa Maria, Santiago. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/45bdc3eb-bae4-4e49-89cd-ef1d9755da64>
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *ISO 9000:2015 - Sistemas de gestión de calidad: Fundamentos y vocabulario*. Ginebra, Suiza.: Autor.
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (3 de Febrero de 2023). *Procesos industriales - Qué son, definición, características y ejemplos*. Obtenido de Definición.DE: <https://definicion.de/procesos-industriales/>
- Rojas Cueva, D. K. (2024). Plan de mejora paramantener bajo control estadístico el proceso de empaclado de arándano en una empresa de La Libertad. (*Ingeniero Agroindustrial*). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14414/22660>
- SAP Concur Team. (10 de Octubre de 2022). *Productividad empresarial: ¿Cómo optimizarla?* Obtenido de SAP Concur: <https://www.concur.com.mx/blog/article/productividad-empresarial-mx>

Tabblify. (29 de Septiembre de 2021). *DIAGRAMA SPAGUETTI: herramienta para aumentar la rapidez del servicio*. Obtenido de Tabblify: <https://www.tabblify.com/post/diagrama-spaguetti-herramienta-para-aumentar-la-rapidez-del-servicio>

CAPÍTULO 7: ANEXO.

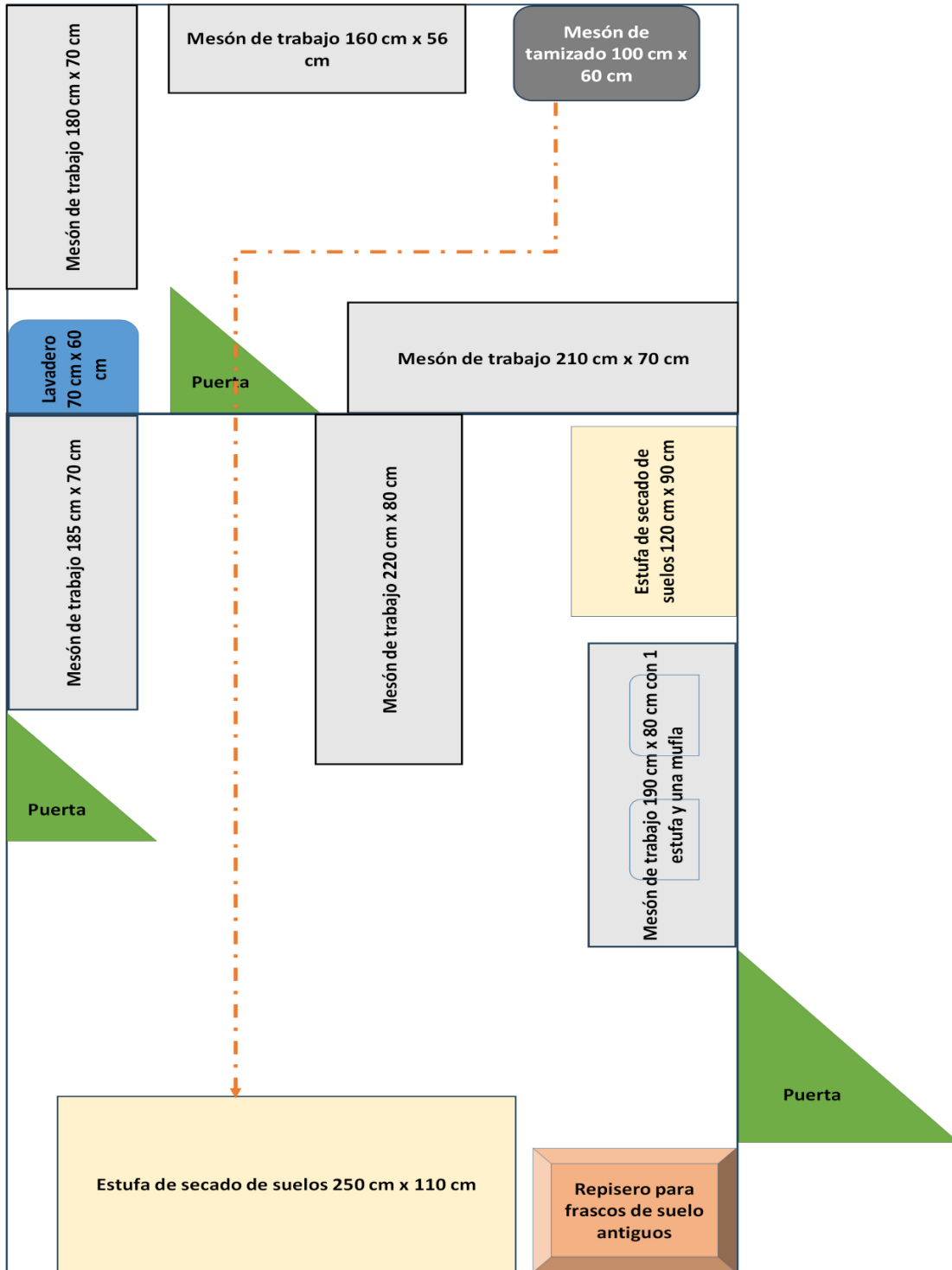


Ilustración 7-1: Distribución actual área de procesamiento de muestras.

En la ilustración 7-1, se observa la distribución actual del espacio dedicado para las actividades de secado y tamizado de suelos, la cantidad de mesones y equipamiento para realizar las diferentes tareas.

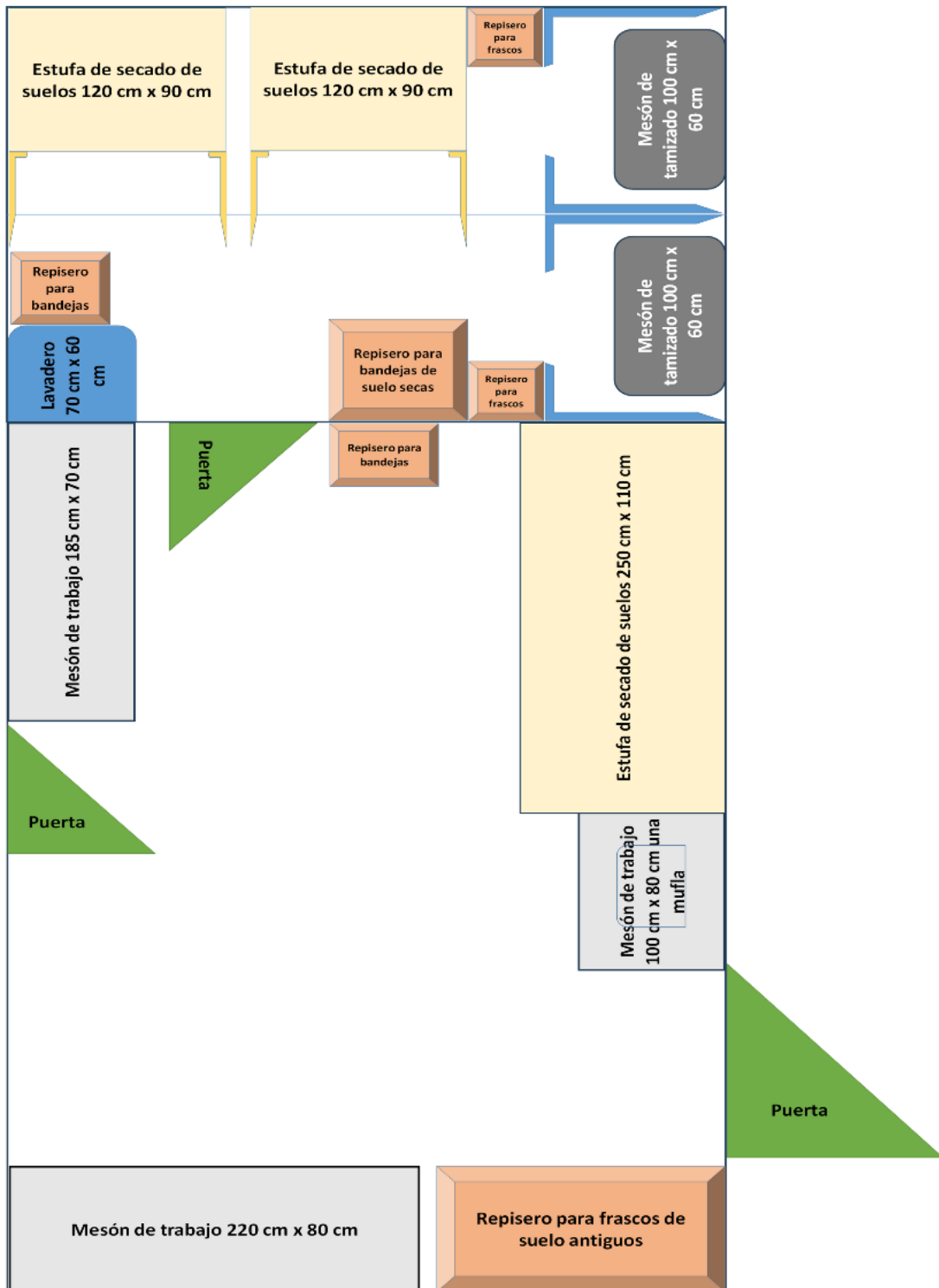


Ilustración 7-2: Distribución propuesta área de procesamiento de muestras.

En la ilustración 7-2, se observa el rediseño del sector de secado y tamizado de suelos, que contempla 2 estaciones de trabajo para tamizar, 3 estufas de secado de muestras y tener más cerca las estufas para evitar excesos de desplazamientos.