

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

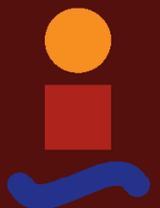
Estudio de la conversión de sistemas de producción tradicionales de laboratorio de ensayos al nuevo concepto de Factory Lab (alta eficiencia).

Autor: Maria del Coral Martinez Zamora

Tutor: Adolfo Crespo Márquez

Dpto. Organización y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2013



Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Estudio de la conversión de sistemas de producción
tradicionales de laboratorio de ensayos al nuevo
concepto de Factory Lab (alta eficiencia).

Autor:

Maria del Coral Martinez Zamora

Tutor:

Adolfo Crespo Márquez

Catedrático de Universidad

Dpto. Organización y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Trabajo de Fin de Grado: Estudio de la conversión de sistemas de producción tradicionales de laboratorio de ensayos al nuevo concepto de Factory Lab (alta eficiencia).

Autor: Maria del Coral Martinez Zamora

Tutor: Adolfo Crespo Márquez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mi familia

Agradecimientos

A mi hermana, por ser un pilar fundamental en mi vida, apoyarme y aconsejarme en los momentos que más lo necesitaba.

A mis padres, por su esfuerzo y sus ánimos para que pudiera hacer lo que me propusiese, tanto académica como personalmente, por su apoyo en mis decisiones, fuesen acertadas o no, por su comprensión y sobretodo, por su cariño incondicional.

A mis amigos, de Sevilla y de Milán, porque si esta etapa ha sido tan especial ha sido gracias a ellos.

Y por último, pero no menos importante, darle las gracias al profesor D. Adolfo Crespo por su ayuda y su dedicación durante el desarrollo de mi trabajo.

Resumen

El análisis de suelos agrícola es una herramienta para ampliar el conocimiento sobre la planta, ayudar a su desarrollo, mejorar la producción de ésta y permitir al beneficiado, es decir, el cliente, establecer un cultivo tipo para obtener buenos resultados.

Sin embargo, el análisis de suelo se ha realizado comúnmente con metodologías tradicionales y manuales, retrasando los procesos y haciendo de esta práctica un procedimiento poco rentable. Por ello, surge Soil Factory Lab, y en defecto esta memoria, con el objetivo de conseguir crear un laboratorio eficaz, con tecnología avanzada que pueda realizar el análisis de suelo de toda una red de laboratorios expandidos por el mundo.

En esta memoria se tiene como objetivo analizar y diagnosticar posibles fallos en la metodología actual, para introducir mejoras tecnológicas que permitan crear este nuevo concepto de laboratorio.

La memoria se distribuye de la siguiente manera:

En el Capítulo 1, o Introducción, se introduce brevemente la empresa, con qué finalidad fue creada y sus principios.

En el Capítulo 2, o Antecedentes, se pone en antecedentes tanto la empresa, como sus metodologías. También se incluyen diferentes metodologías utilizadas para explicar conceptos durante esta memoria.

En el Capítulo 3, o Desarrollo, se explica detalladamente la situación que podemos encontrar actualmente en la empresa, y se realiza el procedimiento del cual esta memoria está basada: la observación, toma de datos, y simulación del proceso productivo. También se mencionan las decisiones del laboratorio en forma de mejoras.

En el Capítulo 4, o Resultados, se finaliza la memoria con un breve esquema de lo conseguido tras el proceso.

Abstract

The analysis of agricultural soils is a tool to expand knowledge about the plant, help its development, improve its production and allows the client to obtain good results from it.

Soil analysis have always been done with traditional and manual techniques, delaying the processes and making this practice unprofitable and unefficient. Therefore, Soil Factory Lab arises, as this memory, with the aim of creating an effective laboratory, with advanced technology that can perform the soil analysis of a whole network of laboratories spread around the world.

In this report, it aims to analyze and diagnose possible errors in the current methodology, to introduce technical improvements that would create this new lab concept.

Agradecimientos	9
Resumen	11
Abstract	13
Índice	14
Índice de Tablas	17
Índice de Figuras	19
1 Introducción	23
1.1 <i>Objetivos</i>	25
2 Antecedentes	27
2.1. <i>Antecedentes en los procesos-sistemas de la compañía</i>	27
2.2. <i>Antecedentes de la técnica objeto de estudio en la empresa</i>	28
2.3. <i>Metodología para el análisis del suelo</i>	29
2.4. <i>Metodología para el análisis del suelo en la compañía</i>	30
2.4.1 <i>pH</i>	30
2.4.2 <i>Conductividad Eléctrica</i>	31
2.4.3 <i>Caliza Activa</i>	31
2.4.4 <i>Fósforo</i>	31
2.4.5 <i>Textura</i>	31
2.4.6 <i>Nitrógeno Total</i>	32
2.4.7 <i>Bases Disponibles</i>	32
2.4.8 <i>Boro</i>	34
2.4.9 <i>Oligoelementos</i>	35
2.5 <i>Metodologías para el análisis y simulación</i>	36
2.5.1 <i>Metodología IDEF</i>	36
2.5.2 <i>Simulación Montecarlo con Oracle Crystal Ball</i>	37
3 Desarrollo	41
3.1. <i>Observación de la situación actual</i>	41
3.1.1 <i>Logística</i>	41
3.1.1.1 <i>Secado</i>	42
3.1.1.2 <i>Disgregado y Tamizado</i>	42
3.1.1.3 <i>Inserción en bolsa de destino</i>	42
3.1.2 <i>Determinación de parámetros</i>	42
3.1.2.1 <i>Sistema de Pesada</i>	42
3.1.2.2 <i>Adicción Extractante</i>	44
3.1.2.3 <i>Extracción</i>	45
3.1.2.4 <i>Separación o filtración</i>	47
3.1.2.5 <i>Medida de valor del parámetro</i>	48
3.2.3 <i>SIL (Sistema Informático de Laboratorio)</i>	52
3.1.4 <i>Resultados de la observación</i>	53
3.2. <i>Toma de tiempos de los procesos</i>	54
3.3 <i>Simulación del proceso productivo</i>	57
3.4 <i>Mejoras realizadas</i>	60

3.4.1 Inclusión de bandejas-lote	60
3.4.2 Nuevo Sistema de Pesada	61
3.4.3 Sistema de dosificación de reactivos automático	61
3.4.4 Introducción del agitador horizontal	62
3.4.5 Sistema de Filtración Múltiple	62
3.4.6 Nuevos equipos de medida	63
3.4.6.1 Skalar	63
3.4.6.2 Valorador Automático	63
3.4.6.3 Método por difracción laser	64
3.4.6.4 Ampliamento del uso del ICP	65
3.4.7 Envío automático de los equipos al SIL	65
Resultados	66
Conclusiones	69
Referencias	70
Glosario	72
Anexo I	73
Anexo II	79
Anexo III	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Significado del valor resultante de la relación Carbono/Nitrógeno	31
Tabla 3-1: Cantidad volumétrica necesaria para cada parámetro	43
Tabla 3-2: Lista de almacenes asociados a cada uno de los reactivos	45
Tabla 3-3: Reactivos según parámetro y la cantidad necesaria	45
Tabla 3-4: Tiempo de volteo requerido según parámetro	46
Tabla 3-5: longitudes de onda de las bases disponibles	50
Tabla 3-6: longitudes de onda de los oligoelementos	51
Tabla 3-7: Tabla de distribución de tiempos del parámetro Bases Disponibles	55
Tabla 3-8: Posibles eventos y su ocurrencia en la determinación del parámetro Bases Disponibles	56
Tabla 3-9: Capacidades de los equipo para una jornada laboral	57
Tabla 3-10: Recursos a disponibilidad de los trabajadores en una jornada de trabajo	57-58
Tabla3-11: Porcentajes de OEE obtenidos en la simulación	58
Tabla 3-12: Clasificación de suelos para la difracción laser	65
Tabla 3-13: Longitud de onda del boro para su determinación en el ICP	65
Tabla 3-14: Longitud de onda del fósforo para su determinación en el ICP	65
Tabla A2-1: distribución de tiempos de pH	80
Tabla A2-2: Eventos y sus probabilidades del parámetro pH	81
Tabla A2-3: distribución de tiempos del parámetro Conductividad	83
Tabla A2-4: Eventos y sus probabilidades del parámetro Conductividad	83
Tabla A2-5: distribución de tiempos del parámetro Caliza Activa	85
Tabla A2-6: Eventos y posibilidades del parámetro Caliza Activa	86
Tabla A2-7: Distribución de tiempos del parámetro Textura	88
Tabla A2-9: Distribución de tiempos Fósforo Olsen	90
Tabla A2-9: Distribución de tiempos Fósforo Olsen	91
Tabla A2-10: Eventos y probabilidades del parámetro P OLSEN	93
Tabla A2-11: Distribución de tiempos de P Bray	94
Tabla A2-12: Eventos y probabilidades del parámetro P BRAY	95
Tabla A2-13: Distribución de tiempos en el parámetro Oligoelementos	96
Tabla A2-14: Eventos y probabilidades del parámetro P BRAY	97
Tabla A2-15: Distribución de tiempos en el parámetro Boro	99
Tabla A2-16: Eventos y sus probabilidades del parámetro Boro	100
Tabla A2-17: Distribución de tiempos del parámetro Nitrógeno	102
Tabla A2-18: Eventos y sus probabilidades del parámetro Nitrógeno	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mapa de actividad en los países	22-23
Figura 2-1: Concepto actual de la fertilización, donde los análisis son la pieza clave.	27
Figura 2-2: Rango de pH deseado por los cultivos	28
Figura 2-3: Triángulo textual.	29
Figura 2-4: Deficiencia de Nitrógeno en maíz	30
Figura 2-5: Deficiencia de Calcio en frutos de manzano	31
Figura 2-6: Deficiencia de Magnesio en cítricos	31
Figura 2-7: Toxicidad debido a la concentración de sodio	32
Figura 2-8: Deficiencia de potasio en cítricos	32
Figura 2-9: Deficiencia de Boro en cítricos	32
Figura 2-10: Toxicidad por Boro en arándanos	33
Figura 2-11: Ausencia de Hierro en la planta	33
Figura 2-12: Deficiencia de manganeso en ciruelo	33
Figura 2-13: Deficiencia de Zn en cítrico	34
Figura 2-14: Deficiencia de Cu y Cu adecuado	34
Figura 2-15: Caja ICOM en la metodología IDEF.	35
Figura 2-16: Ejemplo de histograma	36
Figura 2-17: Ejemplo de estadística descriptiva	37
Figura 3-1: A0 de la logística	40
Figura 3-2: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Pesada de muestras	41
Figura 3-3: Pesada del parámetro Bases Disponibles	41
Figura 3-4: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Adicción	42
Figura 3-5: Adicción de extractante del parámetro Bases Disponibles	43
Figura 3-6: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Extracción	44
Figura 3-7: Proceso de extracción de Bases Disponibles	45
Figura 3-8: ejemplo de etapa de filtración	45
Figura 3-9: Etapa de centrifugación de bases disponibles	45
Figura 3-10: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Separación	48
Figura 3-11: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Medida	48
Figura 3-12: Medida del pH y de la conductividad	49
Figura 3-13: Proceso de medida de la textura	49
Figura 3-14: medida de la caliza active	49
Figura 3-15: medida de Fosforo Bray y Fosforo Olsen	50
Figura 3-16: medida del boro	51
Figura 3-17: medida del Nitrógeno mediante la metodología Dumas	52

Figura 3-18: introducción de datos en el SIL	52
Figura 3-19:A-0 realización del informe	52
Figura 3-20: Nivel A-0 del proceso general	53
Figura 3-21: Nivel A1 del proceso de determinación de los parámetros	53
Figura 3-22: Integración de todas las etapas del proceso de determinación de Bases Disponibles	53
Figura 3-23: tabla de tiempos de operación de la determinación de Bases Disponibles	54
Figura 3-24: Pérdidas de los equipos	58
Figura 3-25: Histograma de Bases Disponibles	59
Figura 3-26: Resumen de estadísticas de la Simulación de Bases Disponibles	59
Figura 3-27: ejemplo gráfico de las bandejas-lote	60
Figura 3-28: Código de colores SFL	60
Figura 3-29: código de colores aplicado en las bandejas-lote.	60
Figura 3-30: Sistema de pesada con el código de colores	61
Figura 3-31: Sistema de dosificación de reactivos automatizado	61
Figura 3-32: Agitador Horizontal	62
Figura 3-33: Sistema de filtración múltiple desarrollado	63
Figura 3-34: Rack de muestras y Skalar preparado para medir.	63
Figura 3-35: Valorador automático	64
Figura 3-36: Esquema de un equipo de difracción láser.	64
Figura 4-1: Nivel A-1 de la determinación de parámetro	66
Figura 4-2: Esquema final del SFL	67
Figura 4-3: Histograma del Boro medido con el ICP	67
Figura 4-4: Histograma del Fósforo medido con el ICP	67
Figura 4-5: Histograma del ciclo complete	68
Figura4-6: resumen estadístico del ciclo complete	68
Figura A1-1: esquema del pH	73
Figura A1-2: esquema de la conductividad	74
Figura A1-3: esquema de la textura	74
Figura A1-4: esquema de la caliza activa	75
Figura A1-5: esquema de los oligoelementos	76
Figura A1-6: esquema del fósforo Bray	76
Figura A1-7: esquema del fósforo Olsen	77
Figura A1-8: esquema del Boro	78
Figura A1-9: esquema del nitrógeno	78
Figura A2-1: Proceso de toma de tiempos del parámetro pH para 50 muestras	79
Figura A2-2: Proceso de toma de tiempos del parámetro Conductividad para 45 muestras	82
Figura A2-3: Toma de tiempos del proceso de determinación del parámetro Caliza Activa	84
Figura A2-4: Toma de tiempos del parámetro Textura	87
Figura A2-5: Toma de tiempos del parámetro P Olsen	89
Figura A2-6: Toma de tiempos del parámetro P Bray	93

Figura A2-7: Toma de tiempos del parámetro Oligoelementos	95
Figura A2-8: Toma de tiempos del parámetro Boro	98
Figura A2-9: Toma de tiempos del parámetro Nitrógeno	101
Figura A3-1: histograma del proceso del pH	104
Figura A3-2: resumen estadístico del parámetro Ph	104
Figura A3-3: histograma del proceso de la Conductividad	105
Figura A3-4: resumen de estadística del parámetro Conductividad	105
Figura A3-7: histograma del parámetro Textura	106
Figura A3-8: Resumen estadístico del parámetro Textura	106
Figura A3-9: histograma del proceso del Fósforo	107
Figura A3-10: resumen estadístico del Fósforo	107
Figura A3-11: histograma del proceso de Oligoelementos	107
Figura A3-12: resumen estadístico de Oligoelementos	108
Figura A3-14: resumen estadístico del Boro	108
Figura A3-15: histograma del proceso del Nitrógeno	109
Figura A3-16: resumen estadístico del Nitrógeno	109

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se fundamenta en analizar los procesos y sistemas que la empresa AGQ Labs, Centro tecnológico Químico, tiene actualmente implantado en una línea de producción específica de ensayos sobre muestras de suelos agrícolas, con objeto de identificar posibles mejoras en la eficiencia, costes y plazos de respuesta.

Establecido en laboratorios de análisis, ensayos avanzados e ingeniería química especializada, AGQ ofrece soluciones y servicios de valor dirigidos a los sectores agronómico, alimentario, ambiental, minero y salud.

Además de poseer su laboratorio principal en Sevilla, España, AGQ se encuentra presente en América (EEUU, México, Colombia, Perú, Chile), África (Marruecos, Egipto, Sudáfrica) y en los países principales de Europa, bien por la existencia de un laboratorio o de una sucursal técnica (centro de operaciones donde se dispone de toda la estructura técnico comercial, así como de centro de recepción y preparación de muestras que son enviadas a los laboratorios principales para su posterior análisis). Esto le permite colaborar con las empresas agroalimentarias y medioambientales líderes de Europa y América.

AGQ fue fundada en Sevilla en 1993, empezando como un pequeño laboratorio para dar servicio analítico y de asesoría especializada al sector agronómico. Con los años, fue diversificando sus áreas de negocio y su implantación geográfica.

AGQ es, actualmente, una compañía que cuenta con servicios de asesoría y consultoría técnica especializada, decir, es una empresa que no sólo utiliza sus laboratorios de ensayos para realizar análisis sobre diferentes muestras a demanda de los clientes, sino que, en su componente de negocio más importante, utiliza estos análisis-ensayos para dar una asesoría especializada al cliente en cada una de las áreas y sectores de actividad en los que está especializada. Esta multitud de disciplinas hace que cuente con un modelo de negocio único y diferencial en la medida en la que se dispone de la tecnología y el conocimiento para ir desde la identificación del problema, al diseño e implantación de soluciones.

La actividad, por tanto, es diversa y a la vez integrada, pues va desde estudios ambientales, a caracterizaciones de materias primas, seguimiento nutricional de cultivos, seguridad y calidad alimentaria, etc. La Empresa realiza una actividad sinérgica entre tecnología (química analítica) y conocimiento especializado sectorial (ingeniería química aplicada).

AGQ pretende ser un laboratorio referente en el mercado mediante la gestión eficiente y sostenible de los recursos naturales, así como buscando la máxima eficiencia en sus operaciones y procesos de producción, todo ello con el objetivo de aportar a sus clientes una manera segura y rentable de obtener alimentos, energía, metales y materias primas en general. Para ello ofrece líneas de servicios en diferentes sectores de actividad

- Alimentación, centrada en asegurar la seguridad alimentaria mediante análisis de residuos de plaguicidas, microtoxinas, metales pesados u otros contaminantes. Estos servicios analíticos contribuyen decisivamente a que las empresas agroalimentarias garanticen la calidad e inocuidad de sus alimentos.
- Ambiental, dividiéndose en dos subáreas, por un lado garantizar a sus clientes el cumplimiento de las más estrictas normativas ambientales, a través del control, el análisis, el conocimiento del medio y la asesoría especializada y, por otro lado, ofrecer soluciones innovadoras y rentables a problemas de índole ambiental para diferentes sectores como energía, ciclo del agua,...

- Minería, concentrándose en aportar soluciones integrales en la cadena de valor mineralúrgica, desde la exploración geológica, hasta la obtención de producto final, pasando por el control de procesos. Así mismo, como centro tecnológico metalúrgico se realizan estudios específicos para la mejora de procesos extractivos.
- Salud, se trata de un área de trabajo en desarrollo que consiste en la realización de estudios y controles analíticos que garanticen la mayor seguridad y salubridad de los productos farmacéuticos antes de su comercialización
- Y por último, Agronomía, área en la cual me voy a centrar en este proyecto. En este dominio, AGQ conjuga el conocimiento químico con la ingeniería especializada. Se trata de una consultoría a las empresas fundamentadas en la información analítica que aportan los procedimientos de monitoreo y control desarrollados internamente.

Para la aportación de soluciones al cliente se realiza un seguimiento nutricional del suelo, basado en la comprensión y control del sistema suelo-planta-agua, para ello, AGQ Labs estudia e interpreta la interacción entre los fertilizantes aportados, los aportes del agua y las propiedades de cada tipo de suelo para poder determinar las absorciones de determinados nutrientes, controlar el pH, la salinidad y la fracción de lavado, además de evitar deficiencias y toxicidades que tendrían impacto en la cantidad y calidad de la cosecha.

Para el desarrollo de su actividad, AGQ cuenta con diferentes tipos de laboratorios

- Laboratorios Físico-químicos de ensayos inorgánicos: en estos laboratorios se reciben muestras procedentes de todos los sectores (Agrícolas, alimentarios, industrial, medioambiente, minería, etc...).
- Laboratorios de ensayos orgánicos y nutricionales: Desde estos laboratorio se producen los ensayos fundamentalmente del área alimentaria (pesticidas y otros) y Salud (contaminantes en general).
- Laboratorios de ensayos microbiológicos: centrado en el análisis de bacterias, virus, etc... por la peculiaridad de las muestras y ensayos. cada país tiene este específico laboratorio.
- Laboratorios de radiactividad, para muestras medioambientales, alimentarias y mineras. Centralizado en el Centro de España.
- Laboratorios GLP y REACH. Específicos para estudios de degradación y seguridad de compuestos químicos. Centralizado en el Centro de España
- Laboratorios geoquímicos y minero-metalúrgicos: para muestras mineras y medioambientales. Actualmente en los centros de Chile, Perú y España.

En la siguiente figura se muestra el Mapa de actividad por área en los distintos países:

					
España	●	●	●	●	●
Italia	●	●	○	○	○
Portugal	●	●	●	●	○
Marruecos	●	●	◐	○	○
Tunez	●	●	○	○	○
Egipto	●	●	○	○	○
Argentina	●	●	◐	○	○
Chile	●	●	●	●	●
Perú	●	●	●	●	◐
Ecuador	●	●	◐	○	○
Colombia	●	●	◐	○	○

Costa Rica	●	●	◐	○	◐
Rep. Dominicana	●	●	○	○	○
Guatemala	●	●	◐	○	◐
Honduras	●	●	◐	○	◐
El Salvador	●	●	◐	○	○
Nicaragua	●	●	○	○	○
Panamá	●	●	○	◐	○
México	●	●	○	◐	○
USA	●	●	◐	○	◐
Turquía	●	●	○	○	○
Sudáfrica	●	●	○	○	○

● Desarrollo Total ◐ Desarrollo Parcial ◑ Prospección ○ No actividad

Figura 1-1: Mapa de actividad en los países

Como podemos observar, en todas las sedes el sector de agronomía se encuentra desarrollado totalmente. Sin embargo, con el objetivo de automatizar todo el proceso, se crea Soil Factory Lab, un nuevo laboratorio que se encargará en exclusiva del análisis de suelo, que recibirá todo el volumen de muestras de todas y cada una de las sedes y que tendrá como objetivo ser un laboratorio que disponga de la tecnología más avanzada del sector.

Así, surge el proyecto A2 factory, cuyo cometido será realizar los análisis y medidas necesarias para conseguir identificar y proponer las mejoras que permita el éxito del nuevo laboratorio.

1.1 Objetivo del Trabajo

Como hemos dicho anteriormente, el objetivo de Soil Factory Lab es disponer y/o desarrollar la tecnología que les permita tener infalibilidad en la calidad de los resultados, menor tiempo de respuesta y la máxima productividad y eficiencia.

Así, el objetivo general de esta memoria, y del proyecto A2 factory, es dotar a Soil Factory Lab de la más alta tecnología y diseño productivo para que ésta pueda ofrecer los mejores tiempos de respuesta y los precios más competitivos del mercado.

Para ello, se identifican los siguientes objetivos específicos:

- Observación y descripción en detalle de las distintas fases del proceso, definiendo clara y concisamente el procedimiento a seguir en cada una de ellas.
- Análisis de tiempos y eventos que pudiesen atrasar cada una de las etapas, las probabilidades que éstos tienen de ocurrir y el motivo de que estos ocurran.
- Simulación del proceso, y por lo tanto, del diagnóstico final de los cuellos de botella del proceso general.
- Identificación de aspectos que comprometan el proceso, la calidad del resultado o impidan que sea lo más productivo, eficaz, eficiente y rentable posible.

Nuestro primer objetivo entonces será observar las distintas fases del proceso, definiendo clara y concisamente el procedimiento a seguir en cada una de ellas. Una vez esto haya sido realizado, lo próximo será el análisis de tiempos de la situación y los eventos que pudiesen atrasar cada una de las etapas, las probabilidades que éstos tienen de ocurrir y el motivo de que estos ocurran.

Con ayuda de esto, el próximo objetivo se trata de la simulación del proceso, y por lo tanto, del diagnóstico final de los cuellos de botella del proceso general. Este será nuestro aporte al SFL, cuyo objetivo posterior será encontrar una solución al problema que se plantea.

No es objetivo de este trabajo la selección final de las mejoras tecnológicas, pero sí serán mencionadas como resultados para el mejor entendimiento del proceso de mejora.

2 ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes en los procesos-sistemas de la compañía

Por el modelo de negocio de la empresa, los laboratorios cuentan con tecnología de última generación para la realización de los ensayos, pues persiguen que la calidad de los resultados sea del máximo nivel así como que sean realizados con el mínimo plazo de respuesta y con la máxima eficiencia (rentabilidad).

Por otra parte, por la regulación internacional actual, se obligan a que todos los laboratorios estén acreditados por la Norma ISO-17025, norma rigurosa que obliga a que tengan implantados un sistema de calidad de realización de ensayos que asegure el máximo de calidad de los sistemas y procesos de realización de ensayos.

Actualmente la empresa tiene laboratorios en USA (California), Mexico, Colombia, Perú, Chile, España y Marruecos, así como centros de operaciones propios (oficinas técnico comerciales) en Argentina, Costa Rica, Portugal, Italia, Egipto y Sudáfrica y de terceros (partners) en Centroamérica (Guatemala, Salvador, Honduras, Nicaragua), Ecuador y Tunes.

Desde estos centros de operaciones, AGQ da servicio a los clientes locales y recibiendo en ellos las diferentes muestras necesarias. En estos centros las muestras se reciben, registran y acondicionan para poder ser enviadas (por mensajería internacional) a los laboratorios centrales designados, donde se realizan los ensayos. Este acondicionamiento de muestras consiste en realizar procesos de preparación simples que permitan enviar a dichos laboratorios la menor cantidad uniforme (representativa de la matriz) y estable (inerte e inocua) de muestra. Este proceso es según la empresa, clave para poder garantizar la calidad de los datos (trazabilidad), así como para poder tener la máxima eficiencia financiera (menor inversión en países con menor volumen de operaciones) y operativa (menor estructura de costes fijos).

Según me indican, este modelo les permite poder ofrecer en todos los países en los que está presente la totalidad de la gama de ensayos de cada sector, pues no todos los laboratorios tienen capacidad para realizar la gama completa. Con ello consiguen una importante productividad en todos los centros de producción (laboratorios) y rentabilidad en el grupo empresarial.

Para la empresa, el objetivo es disponer y/o desarrollar la tecnología que les permita tener los objetivos anteriormente mencionados, así como gran capacidad técnica de producción, máximo automatismo, alta sensibilidad y reproducibilidad de los datos, mínima intervención humana, máxima seguridad y total robustez (período de vida tecnológica de los equipos).

Como se dijo anteriormente, la empresa tiene actualmente diferentes tipos de laboratorios para ofrecer la gama de ensayos requerida en cada uno de los sectores de actividad donde actúa. Es decir, hay diferentes líneas de producción en cada tipo de laboratorio, y diferentes laboratorios tipo en cada centro de producción-país para ofrecer una variada gama plurisectorial de ensayos a nivel local y global.

2.1. Antecedentes de la técnica objeto de estudio en la empresa

El análisis de suelos agronómicos es un tipo de ensayo de gran valor en la agricultura tradicional y moderna, pues permite conocer las propiedades físico-químicas de los suelos en los que se fundamentan los cultivos y de ahí conocer cual es el grado de fertilidad que los mismos pueden tener. Usualmente se realiza este tipo de ensayo en fincas antes de la plantación para así , poder corregir y optimizar los mismos con enmiendas, así como durante el cultivo para optimizar los aportes de fertilizantes.

En el año 2017 AGQ realizaba estos ensayos sobre aprox. 20.000 muestras distribuidas en cada una de las sedes donde estaba presente, y este tipo de análisis se realizaba en todos los laboratorios existentes y dentro del laboratorio específico de ensayos inorgánicos físico-químicos.

AGQ preveía que por la necesaria evolución de la agricultura hacia prácticas más sostenibles, lo que unido a su plan de expansión internacional y a que este tipo de muestras también iba vinculada a su modelo de CNM, anteriormente mencionado y en exponencial crecimiento global, y al desarrollo interno de un nuevo sistema de visualización e interpretación digital de datos (Sistema GIS-AGQ) el volumen de muestras se iba a incrementar globalmente de forma considerable, incluso disruptiva, a medio y largo plazo.

Los procesos de producción que los laboratorios (de AGQ y de terceros) tradicionalmente hacían sobre este tipo de ensayos eran muy diversos, complejos, con muchas etapas manuales, y con alto requerimiento de mano de obra y de equipamiento instrumental de laboratorio. Procesos que, en definitiva, demandan muchos recursos en cada localización que “entorpecen” la producción y la calidad sobre el resto de ensayos del laboratorio específico comentado (Físico-químico), lo que unido a la estacionalidad de la demanda en cada país, impiden que se realicen de forma eficiente (rentable) y segura (difícilmente pueden obtenerse datos homogéneos en distintos laboratorios).

Pero en cambio, este tipo de muestras, tras un sencillo proceso de preparación previo (homogeneización, secado, trituración, uniformización y tamizado), son extraordinariamente estables e inertes, por lo que es factible que “viajen” de forma que se pueda centralizar la producción en un solo centro mundial del grupo.

Por todo ello, AGQ Labs emprende un proyecto denominado SFL (Soil Factory Lab) que tiene como objetivo principal centralizar la producción sobre este tipo de ensayos en todo el grupo, así como simplificar y especializar los laboratorios locales evitando tener que hacer este tipo de ensayos. La empresa pretende con ello conseguir la máxima calidad de resultados (homogénea) en el mínimo plazo de respuesta, así como incrementar la rentabilidad de forma importante por eficiencia de procesos, de recursos, de reducción de la estacionalidad y por incremento de la escalabilidad.

Para ello era fundamental que cada sede hiciese las operaciones básicas primarias con la máxima eficiencia y celeridad (recepción, registro, acondicionamiento y envío), disponer de un acuerdo logístico internacional seguro, de bajo coste y eficiente; así como obtener los permisos aduaneros de cada país de origen y destino, y centralizar la producción en el país más seguro (tecnología, aduanas, Courier, personal, suministro eléctrico, etc...), con mas factible mano de obra (de diferente cualificación y coste aceptable) y mejores instalaciones de asentamiento.

Este proyecto exigía además del máximo nivel de automatización-robotización, de un exhaustivo análisis de los procesos para su óptima organización.

2.2. Metodología para el análisis del suelo

Los análisis de suelos definen, a través de un conjunto de determinaciones, su constitución y contenido en elementos minerales rápidamente asimilables por las plantas. En consecuencia, ofrecen al agricultor la posibilidad de aportar al suelo la cantidad y calidad necesarias de elementos nutritivos, bien como abonos minerales (químicos), bien como estiércoles, purines o restos de cosechas (orgánicos). Los análisis de suelos constituyen una pieza clave en la consecución de una correcta fertilización (Figura 2). Una buena prueba de esta necesidad es el hecho de que los análisis de suelos son uno de los servicios más frecuentemente pedidos por los agricultores.



Figura 2-1: Concepto actual de la fertilización, donde los análisis son la pieza clave.

Todos aquellos elementos que participan en el proceso de la asimilación, y que forman los grupos vitales para la planta, representan la materia nutritiva vegetal imprescindible. Entre estos elementos básicos figuran el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, el fósforo y el azufre

También una serie de elementos químicos que no se encuentran en el material vegetal estructural, y cuya presencia es necesaria para catalizar y regular los procesos fisiológicos. Por tanto, también estos elementos tienen que ser considerados como materias nutritivas indispensables. Este grupo está compuesto por los siguientes elementos: potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro.

Además de las materias nutritivas citadas, en el análisis de algunas plantas se encuentran otros minerales, como son el sodio, el aluminio, el silicio, etc., que, al no encontrarse en todas las plantas, no se consideran esenciales.

Teniendo en cuenta que ningún elemento vital puede reemplazar a otro, se comprende que si falta un elemento en un medio nutritivo no es posible la vida vegetal. Por lo tanto, cualquier elemento tiene la misma importancia que los demás, aunque es verdad que no es necesario aportar al suelo todos los elementos nutritivos mediante el abonado.

El carbono, el oxígeno y el hidrógeno son absorbidos por la planta del aire y del agua, mientras que los demás elementos se absorben del suelo. De estos últimos, las plantas necesitan mayor cantidad de unos que de otros, y algunos de ellos están normalmente presentes en el suelo en cantidad suficiente, mientras que otros no lo están.

Atendiendo a estos dos criterios, los elementos nutritivos se pueden clasificar en:

- Macroelementos primarios. Son los que necesita la planta en cantidades elevadas y cuyo contenido en el suelo no suele ser suficiente para cubrir sus necesidades.
- Macroelementos secundarios. Las exigencias de la planta también son altas respecto a los elementos de este grupo, pero sus contenidos en el suelo suelen ser suficientes para cubrirlos.

- Microelementos u oligoelementos. Son aquellos elementos de los cuales las plantas tienen unas necesidades muy pequeñas y cuyo contenido en el suelo es suficiente para asegurarlas. Solamente la presencia muy elevada de algún macroelemento secundario puede impedir que las plantas lo absorban (bloqueos), o que determinadas condiciones físicas del suelo (como el pH) impidan su solubilidad, y por tanto, su disponibilidad para la planta.

En la cuantificación de estos elementos, así como en las propiedades físicas que pueden condicionar su disponibilidad, es en lo que se centran principalmente las determinaciones de los análisis de suelos.

2.3. Metodología para el análisis del suelo en la compañía

AGQ ha desarrollado diferentes “paquetes de análisis”, en los cuáles incluye un determinado número de parámetros según lo que el cliente haya demandado. Los posibles parámetros que ofrece AGQ son:

2.4.1 pH

Este parámetro nos mide la acidez o alcalinidad en los suelos. Un pH adecuado es esencial para el buen desarrollo de las plantas, un pH no adecuado puede impedir la correcta absorción de nutrientes.

Su índice varía del 1-14 siendo el 7 neutro, cuánto mayor sea el índice más alcalino será este. Consecuentemente, cuanto menor sea, más ácido será.

La acidez puede ser producida por las precipitaciones, lluvias ácidas, contaminación de minas,... Y provoca en las plantas una toxicidad por aluminio, que puede forzar el retraso de crecimiento de la planta.

Por otro lado, la alcalinidad está presente en suelos con grandes concentraciones de sal y sodio. Están caracterizados por una baja capacidad de infiltración y una lenta permeabilidad, todo ello provoca que no sean suelos fáciles a la hora de cultivar.

Por ello, el pH del suelo debe ser conocido para elegir el cultivo que se va a realizar en un futuro, realizar posibles mejoras o incluso abandonar el cultivo de algún alimento en un determinado suelo. Esto se debe a que según el cultivo que se quiera realizar, se buscará un suelo con un determinado pH, (Figura 3).

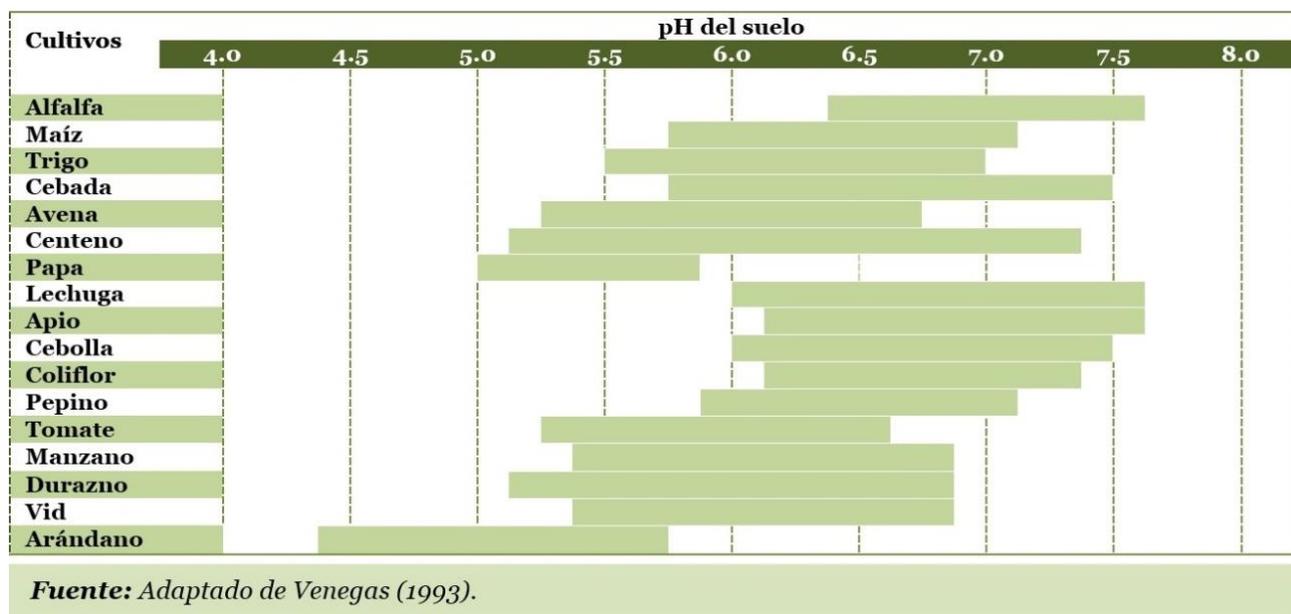


Figura 2-2: Rango de pH deseado por los cultivos

2.4.2 Conductividad Eléctrica (CE)

Sin duda, algo que determina la calidad y fertilidad de un suelo agrícola es el contenido de sales presentes. La manera en la que se mide dicha salinidad en los suelos es mediante la conductividad eléctrica (CE).

Este parámetro está relacionado con el pH, ya que ambos miden la salinidad de un suelo. Al igual que el pH, cuanto mayor sea la CE, más salino será el suelo, y por lo tanto, menor rendimiento tendrá la planta. La aplicación de fertilizantes puede evitar o reducir los daños producidos por la salinidad.

2.4.3 Caliza Activa

El carbonato cálcico es la principal fuente de Calcio en los suelos, encontrándose en dimensiones variables. Los carbonatos tienen una acción positiva sobre la estructura del suelo y sobre la actividad de los microorganismos, pero un exceso de éstos puede traer problemas de nutrición en las plantas por antagonismos con otros elementos.

Cuando se determina la caliza activa se trata de conocer la cantidad de calcio más fácilmente reactivo en un suelo; ésta se determina cuando la cantidad de carbonatos totales es superior al 10%, ya que en esta proporción el nivel de carbonatos podría ocasionar problemas a los cultivos, especialmente a los leñosos. En plantas con un porcentaje alto de caliza activa pueden aparecer problemas de clorosis graves.

2.4.4 Fósforo (Olsen y Bray)

El fósforo es un macro-elemento esencial para el crecimiento de las plantas. El fósforo participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de los carbohidratos.

Los síntomas de la deficiencia del fósforo incluyen retrasos en el crecimiento de la planta, coloración púrpura oscura de las hojas más viejas, retraso en el crecimiento de las raíces y el florecimiento.

El fósforo se encuentra en el suelo en compuestos orgánicos y en minerales. Sin embargo, la cantidad del fósforo disponible en el suelo es muy baja en comparación con la cantidad total del fósforo en el suelo.

Nuestro objetivo es conocer el fósforo disponible, que es nuestro parámetro, pero distinguimos entre dos posibles: Fósforo Olsen y Fósforo Bray. Se utilizará el primero en caso de que el suelo tenga un pH mayor de seis, siendo el suelo alcalino; y el segundo lo utilizaremos cuando el suelo sea ácido, es decir, el pH de éste sea menor de seis.

2.4.5 Textura

La textura de un suelo informa sobre la proporción en la que se hallan las partículas elementales que lo constituyen. Estas partículas se encuentran reunidas formando agregados o terrones que hay que deshacer.

Las partículas elementales del suelo se clasifican con arreglo a su tamaño en: arena, limo y arcilla. Así pues esta clasificación se basa en las dimensiones de las partículas y no en su composición química. En lo que respecta a la textura, los suelos pueden clasificarse en tres grupos importantes: arenoso, franco, limoso y arcilloso. Para determinarlo usamos el triángulo textural (Figura 4).

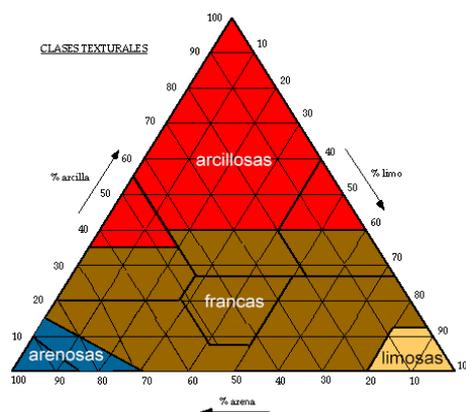


Figura 2-3: Triángulo textural.

2.4.6 Nitrógeno Total

El nitrógeno es el elemento más importante para la planta, su desarrollo y su crecimiento. Éste participa en todas las reacciones enzimáticas y desempeña un papel activo en el metabolismo de la planta. Por ello, la deficiencia de éste puede ocasionar graves problemas, sobre todo si ocurre en una etapa temprana.



Figura 2-4: Deficiencia de Nitrógeno en maíz

La cantidad de nitrógeno que es necesario aportar a través de la fertilización orgánica y mineral se determina partiendo de las necesidades de los cultivos y teniendo en cuenta todas las fuentes de entrada y salida de nitrógeno, para asegurar que la disponibilidad en nitrógeno es la adecuada en cada momento del ciclo vegetativo.

Aunque lo realmente interesante es conocer el Nitrógeno disponible, nosotros utilizaremos el método Dumas, que consiste en analizar el nitrógeno total, acogiéndolo como nuestro parámetro, ya que la diferencia entre éste y el nitrógeno disponible es ínfima y obvia.

Este método resulta más productivo, ya que es más barato para ambas partes interesadas y no provoca grandes diferencias en los análisis.

También se le debe dar importancia a la relación C/N (valor adimensional que evalúa la concentración del carbono frente al nitrógeno):

Relación C/N < 8,5: falta de energía.	Existe una alta liberación de nitrógeno mineral.
Relación C/N entre 8,5 y 11,5: suelo equilibrado.	Existe control en la liberación de nitrógeno mineral y el contenido en carbono del suelo.
Relación C/N > 11,5	El suelo posee exceso de carbono y exceso de energía.

Tabla 2-1: Significado del valor resultante de la relación Carbono/Nitrógeno

2.4.7 Bases Disponibles

Se le denomina Bases Disponibles al conjunto de nutrientes formado por el calcio, el magnesio, el sodio y el potasio. El parámetro mide la disponibilidad de todos los nutrientes para la planta en cuestión. Cada uno de los nutrientes son esenciales para la planta de la siguiente manera:

- Calcio (Ca): elemento fundamental para la permeabilidad de la membrana y la absorción de elementos nutritivos. Forma parte de la estructura de las paredes, dándole consistencia y textura. Tiene como objetivo mantener unidas las paredes de las plantas.



Figura 2-5: Deficiencia de Calcio en frutos de manzano

- Magnesio (Mg): este elemento es clave en el proceso de la fotosíntesis debido a que es un componente básico de la clorofila, la molécula que da a las plantas su color.



Figura 2-6: Deficiencia de Magnesio en cítricos

- Sodio (Na): aún sin ser un elemento esencial, puede ser usado en pequeñas cantidades (en concentraciones altas puede ser perjudicial) como auxiliar para el metabolismo de la planta y para la síntesis de clorofila. También ayuda a regular el equilibrio interno del agua.



Figura 2-7: Toxicidad debido a la concentración de sodio

- **Potasio (K):** considerado el “nutriente calidad”, es un nutriente esencial para las plantas y es requerido en grandes cantidades para el crecimiento y la reproducción de las plantas.



Figura 2-8: Deficiencia de potasio en cítricos

2.4.8 Boro

El boro es usado en la síntesis de las paredes celulares y es esencial para la división celular. Sus funciones más destacadas son la traslocación de azúcares y carbohidratos, la formación de ciertas proteínas, regulación de hormonas y transporte de potasio (ayudando así a la regulación del equilibrio interno del agua).

Al ser importante en el proceso de transporte de azúcares, su deficiencia causa una reducción de éstos en las raíces de las plantas, lo que provoca la parada de su crecimiento.

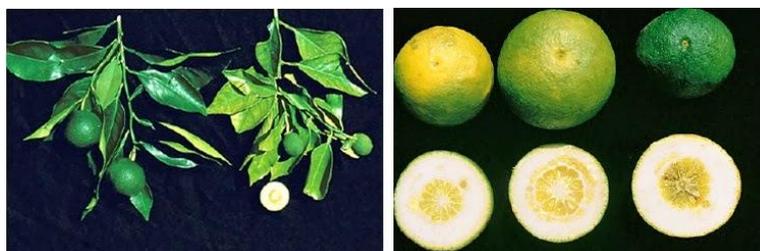


Figura 2-9: Deficiencia de Boro en cítricos

Sin embargo, una concentración alta de este elemento también puede provocar toxicidades que deriven en problemas para el vegetal.



Figura 2-10: Toxicidad por Boro en arándanos

2.4.9 Oligoelementos

Se le denomina Oligoelementos, o micro-elementos, al conjunto de nutrientes formado por el hierro, el manganeso, el cobre y el zinc. El parámetro mide la disponibilidad de todos los nutrientes para la planta en cuestión. Cada uno de los nutrientes son esenciales para la planta de la siguiente manera:

- Hierro (Fe): es un constituyente de varias enzimas y algunos pigmentos; ayuda a reducir los nitratos y sulfatos y a la producción de energía dentro de la planta. Aunque el hierro no se usa en la síntesis de la clorofila, es esencial para su formación.

- Clorosis férrica -

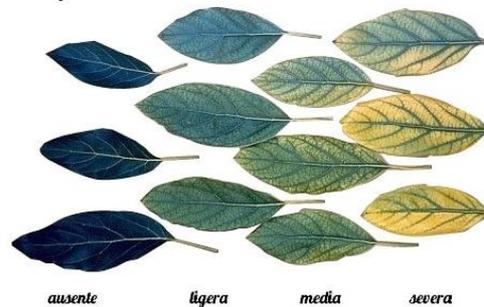


Figura 2-11: Ausencia de Hierro en la planta

- Manganeso (Mn): es uno de los elementos que más contribuyen al funcionamiento de varios procesos biológicos incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno. También interviene en la germinación del polen, y en la resistencia a patógenos de la misma



Figura 2-12: Deficiencia de manganeso en ciruelo

- **Zinc (Zn):** este nutriente es fundamental en la formación de auxinas, que ayudan a la regulación del desarrollo y a la elongación del tallo. Es necesario en pequeñas cantidades y no suele ocurrir con frecuencia su deficiencia.



Figura 2-13: Deficiencia de Zn en cítrico

- **Cobre (Cu):** este nutriente activa ciertas enzimas implicadas en la síntesis de lignina y es esencial para diversos sistemas enzimáticos. También es necesario en el proceso de la fotosíntesis, esencial para la respiración de las plantas y en el metabolismo de carbohidratos y proteínas. Además, el cobre ayuda a intensificar el sabor y el color en las hortalizas y en las flores.



Figura 2-14: Deficiencia de Cu y Cu adecuado

2.4. Metodologías para el análisis y simulación

Las metodologías que utilizamos en este proyecto para el análisis y simulación de la situación de AGQ, con la finalidad de mejorar la productividad son:

2.5.1 Metodología IDEF

IDEF0 o **IDEFØ** (*Integration Definition for Function Modeling*) es un método diseñado para modelar decisiones, acciones y actividades de una organización o sistema. Se trata de una herramienta de análisis que identifica las funciones que se llevan a cabo en un proceso, el input y el output de éste, los mecanismos o utensilios utilizados para su ejecución y las posibles limitaciones que pueden tener u ocurrir.

Esta metodología es de gran ayuda por su claridad, ya que no sólo promueve y facilita la comunicación de las tareas a realizar sino que ejerce una importante función a la hora de la toma de decisiones para la mejora de una situación, como es nuestro caso.

El primer paso en la creación del modelo es describir el más alto nivel, llamado Diagrama de Contexto A-0.

Dicho diagrama describe al sistema en su conjunto, proporciona una descripción general de la actividad de la organización que se va a modelar por lo cual la definición coincidirá con la misión de la organización. La forma de confeccionar el diagrama A-0 es la misma que se emplea para todos los procesos y que resulta en la representación gráfica de la caja ICOM.

La caja ICOM consiste en la determinación del Input (entradas del sistema), Control, Output (salidas) y Mechanisms, donde:

Entradas: Es el material o información consumida o transformada por una actividad para producir “salidas”. Se identifican al lado izquierdo de la caja. Una actividad pudiera no tener entradas.

Salidas: Son objetos producidos por la actividad o proceso. Se asocian al lado derecho de la actividad.

Control: Son los objetos que gobiernan o regulan como, cuando y si una actividad se ejecuta o no. Pueden considerarse restricciones del sistema. Ilustración: normas, guías, políticas, calendarios, presupuesto, reglas, especificaciones, procedimientos. Se asocian al lado superior de la actividad.

Recursos o Mecanismos: Son los recursos necesarios para ejecutar un proceso. Ilustración: Maquinaria, programas de cómputo, instalaciones, recursos humanos. Se asocian al lado inferior de la actividad. Una actividad pudiera no tener mecanismos.

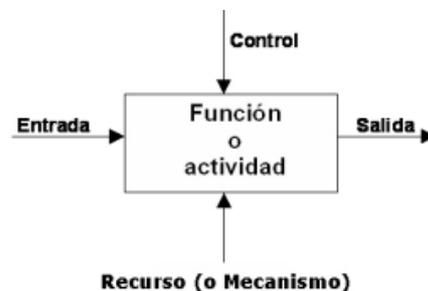


Figura 2-15: Caja ICOM en la metodología IDEF.

Para la realización de este método, se distribuye el proceso en diferentes niveles.

2.5.1.1 Diagrama de contexto Top-Level

Todo modelo debe tener un diagrama de contexto top-level en el que se representa el tema del modelo con una caja única con sus correspondientes flechas. A este diagrama se le denomina diagrama A-0. Las flechas de este diagrama interconectan con funciones fuera del área del tema.

Dado que una sola caja representa todo el tema, el nombre que lo describa será muy general. Lo mismo ocurrirá con las flechas de interfaces dado que representan el conjunto de relaciones externas del tema. El diagrama A-0 también establece el objetivo del modelo así como su orientación. El diagrama A-0 también presentará breves reseñas especificando el punto de vista y el propósito del modelo. El punto de vista determina qué puede ser visto en el modelo del contexto y sobre qué perspectiva. La declaración del objetivo expresa el motivo de creación del modelo y determina la estructura del modelo.

2.5.1.2 Diagrama hijo (filial)

La función representada en el diagrama top-level puede descomponerse en distintos diagramas hijos (filiales) de menor nivel. Asimismo, esas subfunciones pueden ser descompuestas en nuevos diagramas hijos de menor nivel. En un diagrama pueden descomponerse todas las funciones, algunas, o ninguna de ellas. Cada diagrama hijo contiene cajas hijas y flechas que proporcionan un detalle adicional sobre la caja padre.

2.5.1.3 Diagrama Padre (parental)

Un diagrama padre es aquel que contiene una o más cajas padre. Cada diagrama ordinario (que no sea el diagrama contexto) es también a su vez un diagrama hijo dado que por definición detalla una caja padre.

2.5.2 Simulación Montecarlo con Oracle Crytal Ball

“Simulación es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de manera que se obtenga una imitación de un proceso del sistema a través del tiempo. Por lo tanto, la simulación involucra la generación de una historia artificial del sistema y la observación de esta historia mediante la manipulación experimental; además, nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema. “

Consecuentemente, resulta que la simulación es uno de los procesos cuantitativos más ampliamente utilizados en la toma de decisiones, pues sirve para aprender lo relacionado con un sistema real mediante la experimentación con el modelo que lo representa. Así, el objetivo consistirá en crear un entorno en el cual se pueda obtener información sobre posibles acciones alternativas a través de la experimentación usando la computadora. En administración, los modelos matemáticos se construyen y se utilizan para comprobar los resultados de decisiones antes de aplicarlas a la realidad.

Crystal Ball se trata de un complemento de la aplicación de Windows Excel especialmente diseñado para la simulación con Montecarlo; La simulación de Monte Carlo es una técnica que combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen los ordenadores para generar números pseudo-aleatorios y automatizar cálculos.

La simulación de Monte Carlo se ha venido aplicando a una infinidad de ámbitos como alternativa a los modelos matemáticos exactos o incluso como único medio de estimar soluciones para problemas complejos. Así, en la actualidad es posible encontrar modelos que hacen uso de simulación Monte Carlo en las áreas informática, empresarial, económica, industrial e incluso social. En otras palabras, la simulación de Monte Carlo está presente en todos aquellos ámbitos en los que el comportamiento aleatorio o probabilístico desempeña un papel fundamental.

En el análisis de una situación con Montecarlo, no sólo se debe tener en cuenta la situación esperada sino también la pesimista y la optimista. Una vez hecho esto, lo que haremos similar a desarrollar muchos escenarios de “qué pasaría si”, generando de manera aleatoria valores para las distintas entradas probabilísticas del problema, con la ventaja de que nos va a permitir tener un juicio sobre la probabilidad de los posibles valores de utilidad o de pérdida. Ahora necesitamos generar valores para las entradas probabilísticas que sean representativas de lo que pudiéramos observar en la práctica.

Los resultados obtenidos nos van a ayudar a comprender mejor el potencial de utilidad o de pérdida. Por tanto, se recomienda realizar un histograma de la muestra los resultados difieren, precisamente por el error de muestreo.

Un histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

La repetición del proceso de simulación con distintos valores de entradas probabilísticas es parte esencial de cualquier simulación. A través de ensayos repetidos, la administración empezará a comprender lo que pudiera ocurrir cuando el producto se introduce en el mercado.

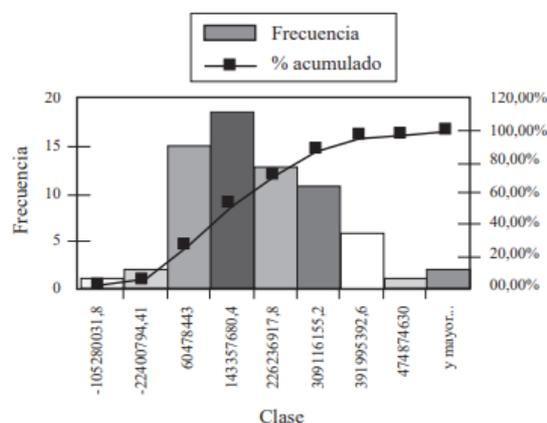


Figura 2-16: Ejemplo de histograma

También, gracias a esta simulación, se recojen datos de estadística que nos ayudan a comprender mejor la situación.

Columna 1	
Media	158312474,2
Error típico	15803359,03
Mediana	136811189,4
Moda	#N/A
Desviación estándar	132220387,9
Varianza de la muestra	1,74822E+16
Curtosis	0,349189721
Coefficiente de asimetría	0.626528563
Rango	663033899,3
Mínimo	-105280031,8
Máximo	557753867,4
Suma	11081873194
Cuenta	70
Mayor (1)	557753867,4
Menor(1)	-105280031,8

Figura 2-17: Ejemplo de estadística descriptiva

Donde:

Un **error típico** se refiere a las variaciones que son a menudo inevitables. El error típico puede definirse también como la variación producida por factores distorsionantes tanto conocidos como desconocidos.

La **mediana** se refiere al valor de la variable que deja el mismo número de datos antes y después que él

La **moda** es el valor con mayor frecuencia en una distribución de datos.

La **desviación estándar** es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

La **varianza** o **variancia** una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

La **Curtosis** es una característica de forma de su distribución de frecuencias/probabilidad. Según su concepción clásica, una mayor curtosis implica una mayor concentración de valores de la variable muy cerca de la media de la distribución (pico) y muy lejos de la misma (colas)

El **Coefficiente de asimetría** es una estadística que busca expresar la simetría (o falta de ella) que manifiestan los datos,

El **Rango**: es el intervalo que existe entre las utilidades mínima y máxima.

El **Mínimo**: es lo que entendemos por utilidad mínima

El **Máximo**: es lo que entendemos por utilidad máxima

La **Suma**: se trata de que la suma de todas las frecuencias absolutas debe dar el total de la muestra estudiada

Mayor: se corresponde con la utilidad máxima

Menor: se corresponde con la utilidad mínima

3 DESARROLLO

3.1. Observación de la Situación Actual

Para obtener nuestro objetivo, es decir, realizar mejoras para que el Soil Factory Lab sea un laboratorio tecnológico, automatizado y productivo, en primer lugar necesitamos observar la situación actual en la que se encuentra el laboratorio agronómico, o como antes hemos definido, el laboratorio físico-químico, encargado de realizar el análisis de suelo antes de que se crease el SFL.

Antes de realizar la observación suponemos que la primera mejora, y la razón por la que se ha creado el SFL, ha sido realizado correctamente. Es decir, que todas las muestras son preparadas en las sedes pero mandadas al SFL para ser procesadas.

En la fase de observación he analizado todas las etapas del proceso, documentando, para el máximo número de procesos diferentes, las etapas en las que se puede dividir un proceso, fotografiando cada una de ellas.

Además también he utilizado la metodología IDEF para, de forma concisa, explicar las entradas, salidas, metodologías y limitaciones de cada una de las etapas.

En AGQ el proceso productivo consta de tres etapas: la logística, el proceso de determinación de cada uno de los parámetros y la introducción de valores en el SIL (sistema de información del laboratorio).

3.1.1 Logística

La operación de logística comienza en el momento en el que las muestras del cliente son recibidas y terminará cuando todas las muestras recibidas han sido tratadas y registradas en el sistema informático. Como hemos relatado anteriormente, al inicio del proyecto se realiza un cambio en la estructura de la empresa, en la cual todas las muestras son procesadas en la sede principal. Sin embargo, éstas son preparadas y acondicionadas en las sedes de origen.

El procedimiento sigue de la siguiente manera: en primer lugar, se reciben las muestras por parte del cliente, bien recibéndola por él mismo, por alguna empresa adscrita a la empresa, o incluso por algún trabajador de la empresa que haya realizado el muestreo.

En segundo lugar, se registran las muestras. Esta fase del proceso es realizada por el departamento de Operaciones, el cual reúne toda la información y requisitos que el cliente ha constatado y añade en el sistema de base de datos. Ésta información puede ser:

- Análisis tipo que demanda el cliente
- Nombre del cliente
- Fecha de muestreo
- De dónde proviene la muestra (una finca, un embalse,...)

Toda esta información queda guardada en el sistema de información, y éste nos proporciona un código de muestra (en barra), reflejado en una etiqueta, que será adjuntado a la muestra principal, y que la identificará durante todo el proceso productivo.

Será necesaria la conservación de una pequeña parte de la muestra, por si en un futuro es necesario su uso, por posibles contaminaciones u errores.

La siguiente fase del proceso de logística es la preparación y acondicionamiento de las muestras. Esta etapa se realiza en la sede receptora de las muestras y consta de las siguientes etapas:

3.1.1.1 Secado

La cantidad de suelo recibida será introducida en un sobre de papel y más tarde en una estufa de secado a 60°C, durante aproximadamente unas ocho horas. Sabremos que hemos terminado cuando el suelo no impregne el papel que lo contiene.

3.1.1.2 Disgregado y Tamizado

La muestra se pasará por un equipo de disgregación y se tamizará a 2mm. Puede emplearse un mazo como paso previo a la disgregación para ayudar a reducir el tamaño de los cuerpos más grandes (trituración).

3.1.1.3 Inserción en bolsa de destino

Introducimos la muestra representativa en una bolsa de plástico normalizada que se identificará con la etiqueta local y se insertará junto a otras en una caja también normalizada.

Las ventajas de la normalización de estas cajas es el conocimiento exacto del número de muestras, ya que conocemos su capacidad (catorce muestras por caja). También vamos a asignar a cada una de las cajas un código para que sean más fáciles de encontrar una vez lleguen al destino, facilitando los procesos que se deban realizar a continuación.

Una vez preparadas las muestras y rellenas las cajas, éstas son enviadas a la sede de España para el comienzo del proceso de Soil Factory Lab.

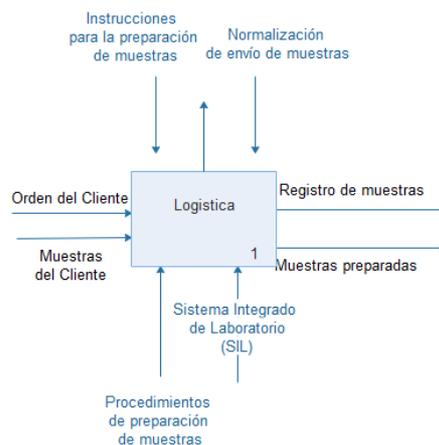


Figura 3-1: A0 de la logística

3.1.2 Determinación del parámetro

El proceso productivo empieza en el momento en el que las muestras, ya registradas en el sistema, son introducidas en el laboratorio. Según el parámetro que haya demandado el cliente, el proceso tendrá unas fases u otras y éstas se realizarán de una manera u otra.

3.1.2.1 Sistema de Pesada

Se trata de la primera fase del proceso productivo. Consiste en la acción de pesar una cierta cantidad de la misma muestra, dependiendo del parámetro al cual nos referimos, para luego insertar esta cantidad en unos recipientes para seguir con el proceso.

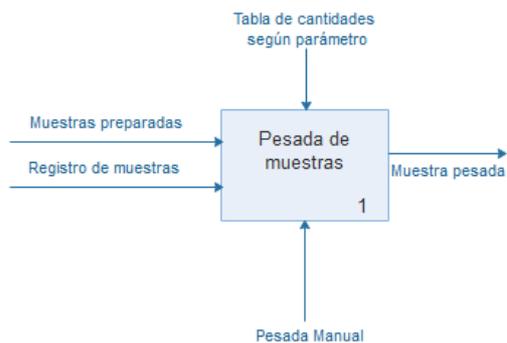


Figura 3-2: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Pesada de muestras

Las cantidades según los parámetros son:

Parámetro	Cantidad (centímetros cúbicos)
pH	10 cc
Conductividad Eléctrica(CE)	Se mide en el mismo que el pH
Caliza Activa	5cc
Fósforo Olsen	2,55cc
Fósforo Bray	7,55cc
Textura	20cc
Nitrógeno	2,5cc
Bases Disponibles	2,55cc
Oligoelementos	5cc
Boro	5cc

Tabla 3-1: Cantidad volumétrica necesaria para cada parámetro

En esta fase se pesan cada uno de los parámetros por separado. Es decir, se debe localizar la muestra en cuestión tantas veces como parámetros habían demandado los clientes, para luego utilizar una cuchara volumétrica, cogiendo la cantidad necesaria de la muestra para cada parámetro e introduciéndola en un recipiente, que se llevará manualmente a la siguiente etapa.



Figura 3-3: Pesada del parámetro Bases Disponibles

Además de la tanda de 57 muestras, se añadirán 3 muestras para asegurarnos de que cada una de las fases del proceso se han realizado correctamente y sin errores.

Por una parte, verificaremos su exactitud, utilizando una muestra de la cual ya conocemos alguno de los parámetros, para asegurarnos de que los valores de las demás muestras que lo acompañan se encuentran cerca del valor real. A esta la llamaremos **muestra referencia**.

También verificaremos la precisión de las muestras, añadiendo una muestra que será medida varias veces, comprobando cada una de ellas que el valor obtenido sea el mismo. La denominaremos **muestra doble**.

Y como última medida de control de calidad, añadiremos una **muestra blanca**, denominada así porque no contiene ningún tipo de contaminación. Al final del proceso se revisará esta muestra para conocer si las demás han podido sufrir alguna corrupción en el proceso.

3.1.2.2 Adición Extractante

Otra de las operaciones que se ha determinado común en la mayor parte de los procedimientos, exceptuando el nitrógeno y la materia orgánica, es la dosificación de los diferentes reactivos de extracción de cada método de ensayo.

Se trata de la segunda fase del proceso productivo. Este proceso consiste en la adición a la cantidad de muestra ya pesada de un extracto determinado para conseguir el extractante necesario que nos permita conocer el valor de cada uno de los parámetros, mediante el siguiente proceso que es la extracción.

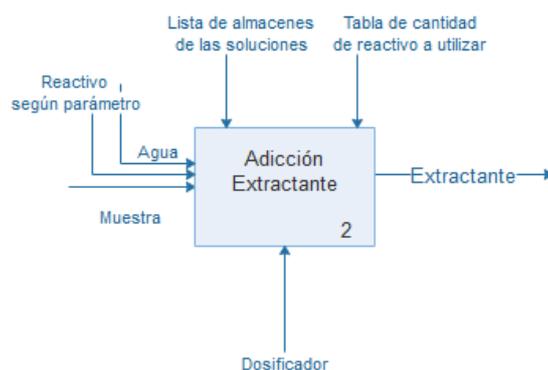


Figura 3-4: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Adición

Tal y como expone el diagrama, cada uno de los reactivos se encuentra en un almacén específico y para que el resultado sea el adecuado, deberá añadirse la cantidad necesaria.

Para conocer esta información, tenemos las siguientes tablas:

Almacén	Reactivo
LA1	Agua (H ₂ O)
LA2	Oxalato Amónico (C ₂ H ₈ N ₂ O ₄)
LA3	Sol. Olsen: combinación de Hidrógeno carbonato de sodio(NaHCO ₃) y Hidróxido sódico en escamas (NaOH).
LA4	Sol. Bray: combinación de Fluoruro de Amonio(NH ₄ F) y Ácido Clorhídrico 37% (HCl).
LA5	Sol. Dispersante: combinación de Sodio Carbonato Anhidro (ACS) y Sodio Polifosfato(STP).
LA6	Acetato de Amonio (AcNH4)

LA7	L&N: conseguida mediante la combinación de Pentaacetato de Dietilentiaramina(DTPA), Cloruro de Calcio($CaCl_2$), Trietanolamina ($C_6H_{15}NO_3$) y Ácido clorhídrico(HCl)	L&N
LA8	Superfloc	

Tabla 3-2: Lista de almacenes asociados a cada uno de los reactivos

Parámetro	Reactivo	Cantidad (ml)
pH	Agua (H_2O) o Cloruro Potásico(KCl)	25
CE	Agua (H_2O).	50
Textura	Solución Dispersante	20
Caliza Activa	Oxalato de Amonio ($C_2H_8N_2O_4$).	50
Bases Disponibles	Si el pH>7, solución diluida de Amoniac (NH_3). Si el pH<7, Acetato de Amonio ($AcNH_4$).	25
Oligoelementos	Disolución extractora de Lindsay & Norwell	20
Fósforo Olsen	Solución Olsen	50
Fósforo Bray	Solución Bray	50
Boro	Superfloc caliente	50

Tabla 3-3: Reactivos según parámetro y la cantidad necesaria

Una vez conocida toda esta información, se utiliza un dosificador (aparato o mecanismo que sirve para suministrar cantidades determinadas de un producto o sustancia) para introducir el reactivo en la muestra. Además, como se podía observar en el diagrama IDEF, también añadiremos agua, sea cual sea el reactivo en cuestión.

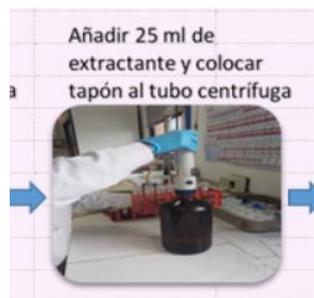


Figura 3-5: Adicción de extractante del parámetro Bases Disponibles

3.1.2.3 Extracción

En química, la extracción es un procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interface. En nuestro proceso, denominamos extracción al proceso de mezcla del líquido añadido (mediante el dosificador) y la muestra, y a la posterior separación.



Figura 3-6: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Extracción

Actualmente la fase inicial de este proceso se realiza mediante un volteador (del cual AGQ tiene la patente) cuya función es girar sobre sí mismo para conseguir la homogeneidad de la muestra. La rotación de este aparato es sobre los tres ejes: x, y e Z.

Tal y como podemos observar en el IDEF, para realizar la extracción adecuadamente necesitaremos conocer el tiempo de volteo necesario para que la muestra se encuentre en las condiciones requeridas:

Parámetro	Tiempo de Volteo
pH	15 min
CE	15 min
Textura	30 min
Caliza Activa	30 min
Bases Disponibles	30 min
Oligoelementos	120 min
Fósforo Olsen	30 min
Fósforo Bray	7 min
Boro	15 min

Tabla 3-4: Tiempo de volteo requerido según parámetro



Figura 3-7: Proceso de extracción de Bases Disponibles

3.1.2.4 Separación/Filtración

Se denomina filtración al proceso unitario de separación de sólidos en una suspensión a través de un medio mecánico poroso, también llamados tamiz, criba, cedazo o filtro. En una suspensión en un líquido mediante un medio poroso, retiene los sólidos mayores del tamaño de la porosidad y permite el paso del líquido y partículas de menor tamaño de la porosidad.

Actualmente, el sistema de filtrado de la mezcla de suelo con las soluciones extractantes está basada en un sistema manual, con filtros de papel. Es decir, el trabajador prepara los filtros de papel, rotula los vasos y recoge la mezcla del agitador, para, a continuación, realizar la filtración manual de la solución.

En un principio, los filtros los hacía el mismo trabajador. Ahora, éstos se compran. Sin embargo, el proceso es el mismo: se filtran uno a uno, tras ser añadidos los extractos.



Figura 3-8: ejemplo de etapa de filtración

Sin embargo, en algunos casos, dependiendo del parámetro, cuando la muestra está extraída es necesario someterla a un proceso de centrifugación, método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos de diferente densidad por medio de una fuerza giratoria en vez de realizar la filtración. Una vez separados realizaremos el ensayo químico en la fase líquida, para finalmente conocer los valores de los parámetros.



Figura 3-9: Etapa de centrifugación de bases disponibles

Por lo tanto el IDEF combinado de ambas posibilidades de separación, que es como hemos denominado al conjunto, sería:

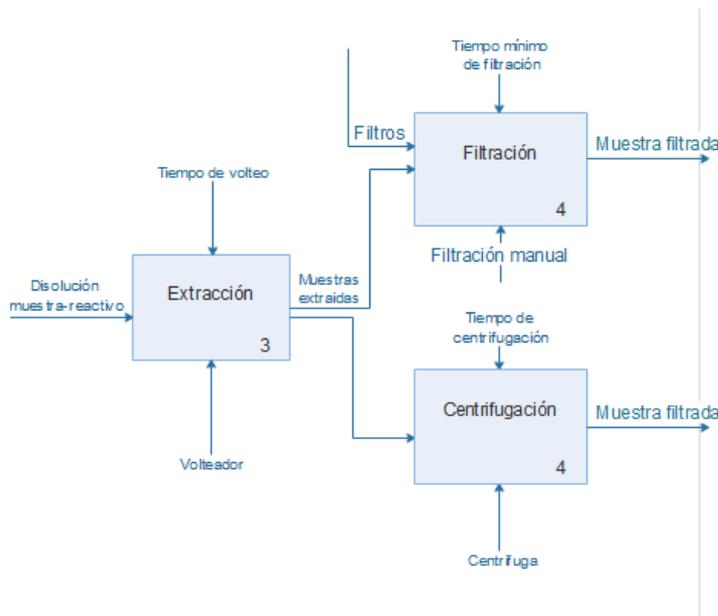


Figura 3-10: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Separación

3.1.2.5 Medida del valor del parámetro

La medida de cada uno de los parámetros consiste en determinar la cantidad presente de esa sustancia en el suelo a analizar. Se trata de la última etapa del proceso productivo, restando así solo la etapa en la que se introducen los valores en el SIL (Sistema Informático de Laboratorio), para que éste produzca el informe de los resultados del ensayo.

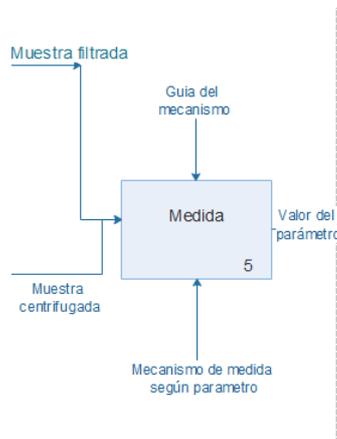


Figura 3-11: A-1 del Procedimiento de Determinación del parámetro: Medida

Al ser la medida la última etapa de la determinación del parámetro podemos definir el nivel A-0 de esta fase como:

La metodología a usar difiere según el parámetro a medir:

- pH y Conductividad Eléctrica

Estos parámetros se miden de forma manual. Es decir, calibramos el medidor y luego medimos cada uno de los recipientes por separado, introduciendo una sonda específica para el pH y otra para la conductividad eléctrica.



Figura 3-12: Medida del pH y de la conductividad

- Textura

El sistema actual de medida de la textura se determina de forma indirecta por medición en el cambio de densidad de una suspensión, formada por una solución acuosa y el suelo a medir. Se trata de una metodología con alta carga manual, sujeta a bastantes errores al ser poco precisa.



Figura 3-13: Proceso de medida de la textura

- Caliza Activa

Para la medida de la Caliza Activa se realiza el siguiente procedimiento manual: en primer lugar, se introduce la solución filtrada en un recipiente, se le añade ácido sulfúrico y se valora manualmente con permanganato potásico hasta su cambio de color.

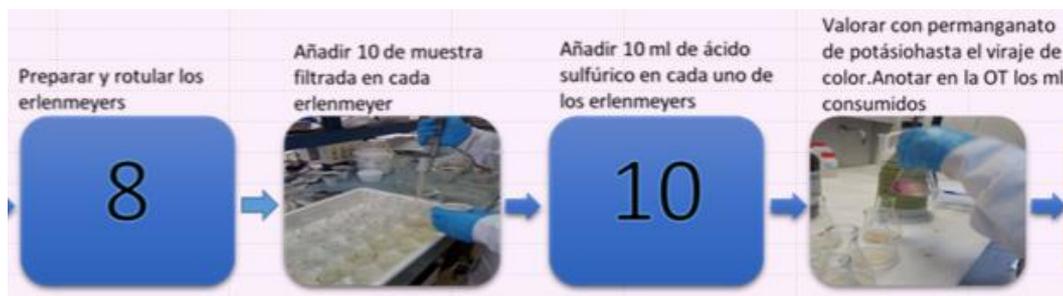


Figura 3-14: medida de la caliza activa

- Fósforo Bray y Fósforo Olsen

En un principio, para determinar el fósforo utilizamos la técnica espectrofotometría ultravioleta visible (una de las más usadas en los análisis químicos), la cual implica la espectroscopia de fotones en la región de radiación ultravioleta-visible. Utiliza la luz en los rangos visible y adyacentes (el ultravioleta (UV) cercano y el infrarrojo (IR) cercano).

En esta región del espectro electromagnético, las moléculas se someten a transiciones electrónicas, que pueden ser cuantificadas.

Para que una sustancia sea activa en el visible debe ser colorida: el que una sustancia tenga color, es debido a que absorbe ciertas frecuencias o longitudes de onda del espectro visible y transmite otras más.

El instrumento utilizado en la espectrometría ultravioleta-visible se llama espectrofotómetro UV-Vis. Mide la intensidad de luz que pasa a través de una muestra, y la compara con la intensidad de luz antes de pasar a través de la muestra.



Figura 3-15: medida de Fosforo Bray y Fosforo Olsen

- Bases Disponibles

La determinación de este parámetro se realiza con el uso de la espectroscopía de emisión de plasma acoplado inducido (ICP-OES).

Un plasma es una mezcla gaseosa eléctricamente conductora que contiene una concentración importante de cationes y electrones. (Las concentraciones de ambos son tales que la carga neta es cero.)

Los iones y los electrones de argón son las especies conductoras principales, aunque los cationes provenientes de la muestra también están presentes en cantidades pequeñas. Los iones de argón, una vez formados en el plasma, son capaces de absorber suficiente potencia de una fuente externa para conservar la temperatura en un nivel en el que la ionización posterior mantiene indefinidamente al plasma.

La ionización del gas que creará y sustentará el plasma, se consigue al someterlo, a través de una bobina de inducción, a una corriente de alta frecuencia. Esta corriente de alta frecuencia, crea un campo magnético, cuyas líneas de fuerzas se encuentran orientadas axialmente, obligando a los iones y electrones a moverse en órbitas circulares, originando, un calentamiento del gas, asegurándose la continuidad del plasma.

Las radiaciones emitidas por los átomos excitados o ionizados pasan por el cromador (red de difracción) y posteriormente son transformadas en corriente eléctrica, fácilmente traducibles en datos cualitativos y cuantitativos.

Las longitudes de onda de medida para los distintos elementos son:

Símbolo	Longitud de onda(nm)/orden	Medida
K	766,490 {44}	Radial
Na	589,592 {57}	Radial
Ca	317,933 {106}	Radial
Mg	279,806 {120}	Radial

Tabla 3-5: longitudes de onda de las bases disponibles

- **Oligoelementos**

Los oligoelementos, o también llamados microelementos (compuestos por el hierro, manganeso, cobre y zinc), son determinados también mediante el ICP-OES.

Las longitudes de onda para los diferentes elementos son:

Símbolo	Longitud de onda(nm) /orden	Medida
Cu	324,754 {104}	Axial
Fe	240,488 {140}	Axial
Mn	293,930 {115}	Axial
ZN	213,856 {157}	Axial

Tabla 3-6: longitudes de onda de los oligoelementos

- **Boro**

El boro se medía con un equipo denominado colorímetro, basado en la ejecución de la colorimetría. La colorimetría es una de las técnicas empleadas con mayor asiduidad en los laboratorios de Bioquímica. Esta técnica suministra información cualitativa y cuantitativa sobre sustancias en disolución.

El colorímetro es un instrumento diseñado para dirigir un haz de luz paralela monocromática a través de una muestra líquida y medir la intensidad del haz luminoso emergente. La fracción de luz incidente absorbida por una solución a una longitud de onda está relacionada con el paso óptico y con la concentración de la especie absorbente.

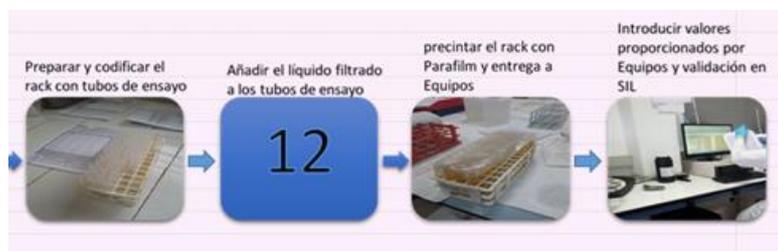


Figura 3-16: medida del boro

- **Nitrógeno**

En el caso de la determinación del nitrógeno, el principal método utilizado por los centros de investigación para generar los estándares nutricionales de nitrógeno que actualmente usamos en agronomía y que nos permiten verificar si nuestras plantas se encuentran con sus niveles nutricionales adecuados y con ello, programar la fertilización del cultivo o huerto, es el método Kjeldahl.

Este método consiste en una digestión ácida donde el nitrógeno (N) total es convertido a NH_4 , analizándose este mediante colorimetría, explicado anteriormente.

Sin embargo, AGQ ha decidido recientemente usar otro método, el método Dumas, : una alternativa rápida y cómoda al método clásico según Kjeldahl para casi todas las muestras sólidas y líquidas, debido a que Dumas tiene menos riesgo de error y su automatización implica mayor rapidez y menor costo del análisis.

Dado que esta técnica mide el C total y no el orgánico o oxidable, será necesario hacer un tratamiento previo de la muestra que nos permita eliminar los carbonatos de forma que al introducir las muestras en los equipos esta fracción se haya evaporado en forma de CO_2 permaneciendo solo la fracción orgánica la cual será determinadas por el equipo.

Este método se realiza mediante un analizador elemental, LECO.

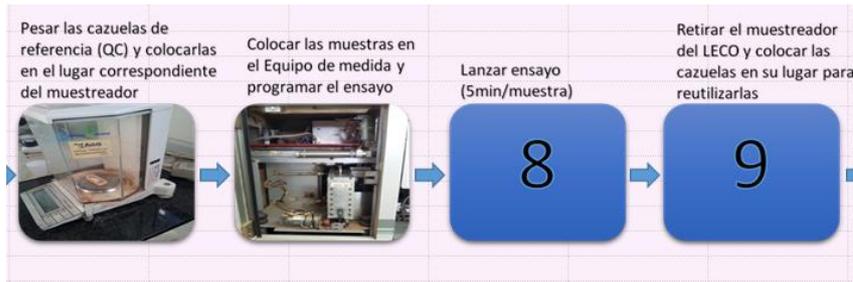


Figura 3-17: medida del Nitrógeno mediante la metodología Dumas

3.1.3 SIL (Sistema Informático de Laboratorio)

El SIL se trata de un software de gestión de todos los procesos de ensayo del laboratorio, dónde se registran las muestras, se asignan análisis tipo (diferentes tipos de análisis que se pueden hacer), se introducen los parámetros que se miden manualmente y dónde se calculan los resultados en las unidades que salen en el informe de ensayo. En definitiva, es el que convierte los datos de análisis en un “report” o informe final de ensayo.

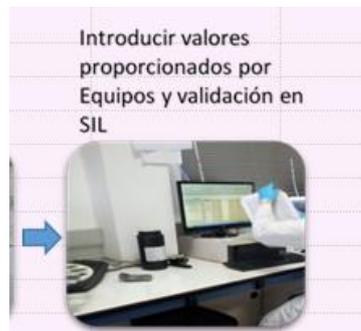


Figura 3-18: introducción de datos en el SIL

Este software, además, está integrado con un programa de gestión, X3, y con otro que permite que el cliente acceda a ver sus datos y gestiones sus informes, BeSafer, ambos programas diseñados y usados en exclusiva por la plataforma de AGQ.

Una de las ventajas del SIL será que dispondrá una ubicación donde consultar cuales son las coordenadas espaciales de la muestra en cualquier momento de su vida, haciendo más ordenado el proceso y facilitando su ubicación en cualquier instante de éste para cuando sea necesario.

Es la última fase del proceso productivo del análisis de suelo, y el que realiza el producto final, que es el informe de ensayo, que será entregado al cliente posteriormente.



Figura 3-19:A-0 realización del informe

3.1.4 Resultados de la Observación

Habiendo acabado la observación del proceso, podemos decir que los resultados son los siguientes:

- Con respecto a la metodología IDEF, los niveles integrados son:

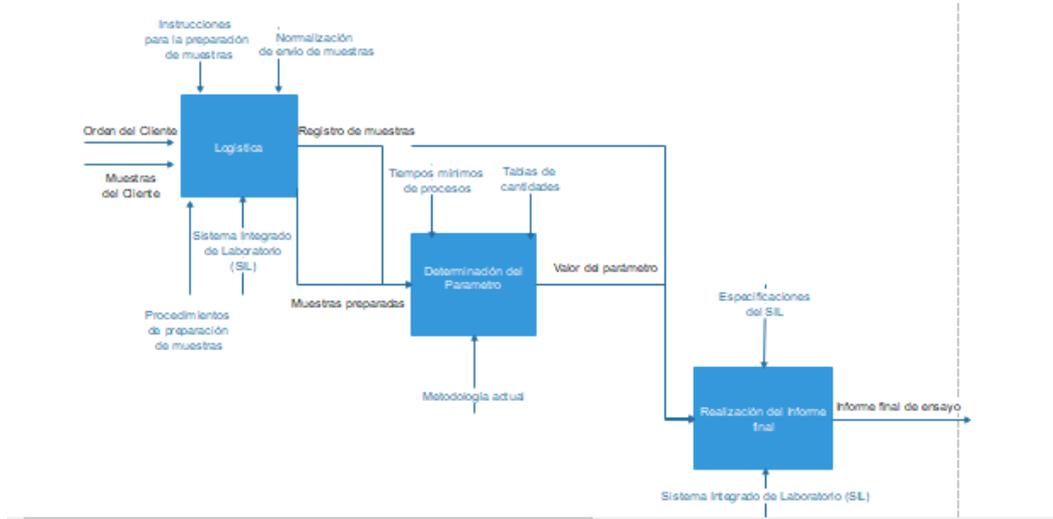


Figura 3-20: Nivel A-0 del proceso general

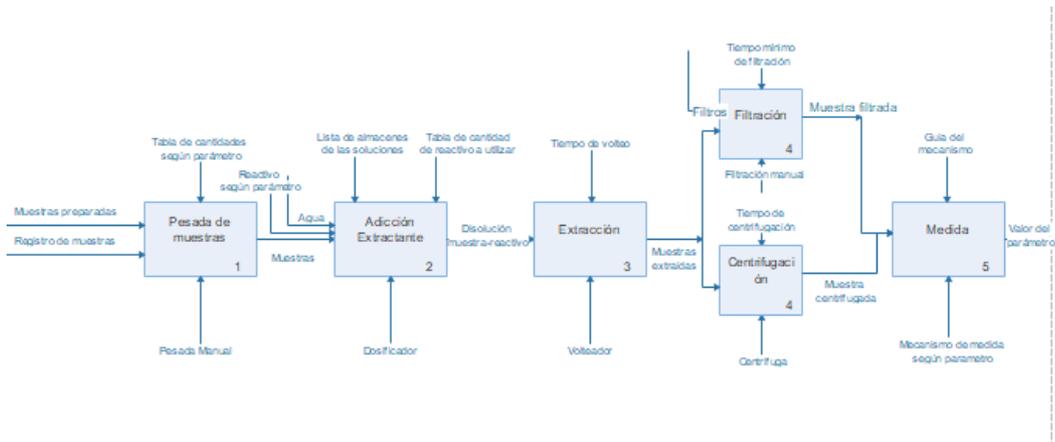


Figura 3-21: Nivel A1 del proceso de determinación de los parámetros

- Con respecto a las etapas de todos los procesos posibles (de cada uno de los parámetros) y el esquema de éstos. Adjunto imagen de uno de los parámetros, Bases Disponibles, el resto de los esquemas se pueden encontrar en el **Anexo I**.



Figura 3-22: Integración de todas las etapas del proceso de determinación de Bases Disponibles

3.2. Toma de tiempos de los procesos

“El Estudio de Tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida.”

El análisis de un proceso puede dar lugar a acciones de rediseño para incrementar la eficacia, reducir costes, mejorar la calidad y acortar los tiempos reduciendo los plazos de producción y entrega del producto o servicio.

La técnica empleada en este caso para el estudio de tiempos es el estudio de tiempos por cronómetro. Dentro de esta técnica, encontramos dos posibles procedimientos básicos para medir los tiempos de cada elemento de un ciclo de trabajo: lectura continua y lectura repetitiva.

El primero consiste en accionar el cronómetro y leerlo en el punto final de cada elemento sin desactivar el cronómetro mientras dura el estudio. Es recomendable para elementos cortos.

El segundo, lectura de vuelta a cero o lectura repetitiva, consiste en accionar el cronómetro desde cero al inicio de cada etapa y desactivarlo cuando ésta termina, regresando el cronómetro a cero. Esto se hace sucesivamente hasta concluir el estudio.

Para hacer el estudio de tiempos de esta situación he seleccionado el segundo procedimiento, debido a que facilita:

- El conocimiento de la duración de cada una de las etapas (interés principal de nuestro proyecto para conocer qué etapa podemos mejorar) ya que no son necesarios muchos cálculos.
- La identificación de errores en cada etapa
- La precisión de los datos obtenidos en cada etapa.

Sin embargo, el uso de esta técnica también ha requerido mayor concentración por mi parte, y a veces, la pérdida de precisión del tiempo total ya que los tiempos entre etapas son complicados de deducir. Como el conocimiento del tiempo total no es importante o necesario para la consecución de nuestro objetivo, podemos permitirnos obviar esta imprecisión en el método.

Entonces, para la elaboración de una tabla con tiempos por etapas(y tamaños de lote),y para cada uno de los procesos(de cada uno de los parámetros), he medido los tiempos de proceso del laboratorio inorgánico durante el mes de mayo de 2017, utilizando la técnica mencionada, con la ayuda de un cronómetro y un tablero para la notación de observaciones. Obtengo la siguiente tabla:

	Tiempo de operación en minutos por OT (Min/OT)										
	Preparación de la OT y rotulación tubos centrifuga	Localización de las muestras	Añadir 2,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	Colocar en el volteador y agitar durante 30 min	Preparar y codificar Rack con tubos de ensayo	Retirar del agitador y colocar en la centrifuga	Centrifugar 5min	Filtrar el líquido sobredenante en embudo con algodón	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	Introducir valores proporcionados por Equipos y validación en SIL
Determinación ases disponibles (50 muestras + muestra doble)	9	4.5	10	6	33	9	5	25.5	44	2	10

Figura 3-23: tabla de tiempos de operación de la determinación de Bases Disponibles

En este apartado de mi trabajo utilizaré como ejemplo el parámetro de Bases Disponibles, pero la documentación de los restantes parámetros serán adjuntados en el **Anexo II**.

Una vez realizada la medida de todas las etapas de un proceso, se ha obtenido una distribución de tiempos (tiempo optimista, tiempo más probable y tiempo pesimista), se ha definido la condición normal en la que se ejecuta la etapa y se ha determinado el porcentaje de recurso humano utilizado en esa etapa.

Así, la tabla que obtenemos es:

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)	¿T depende del número de muestras?
------------------	--------	---	---------------------------	------------------------------	------------------------------------

Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación tubos centrífuga	Que haya botes y tapones suficientes	100	8	9	12	SI
	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	4	4,5	5	SI
	Añadir 2,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Que esté la cuchara disponible en el cajón	100	9	10	11	SI
Adición de Extractante	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para el ensayo	100	5,5	6	6,5	SI
Agitación	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	3	5	6	SI
	Agitar durante 30 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	31	32	40	SI
Centrifugar	Retirar del agitador y colocar en la centrífuga	Que esté disponible la centrífuga	100	3	5	7	SI
	Centrifugar 5min	Que el equipo no de fallo en balanceo y se centrifuguen por lotes de 16	50	22	25,5	28	SI
Preparación de muestras para medir	Preparar y codificar Rack con tubos de ensayo	Que haya tubos de ensayo suficientes	100	8	9	10	SI
	Filtrar el líquido sobrenadante con algodón		100	41	44	46	SI
	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	Que haya material para precintar	100	1,5	2	2,5	SI
Medida	Medida en ICP	Que no haya errores en la medida de los QC y que la muestra analizada no exceda de la concentración	78	54	56	58	SI
Reporte en SIL	Introducir valores proporcionados por Equipos y validación en SIL		100	10	12	15	SI

Tabla 3-7: Tabla de distribución de tiempos del parámetro Bases Disponibles

A continuación, realizo una tabla con los posibles eventos que provoquen retrasos en las etapas como pueden ser la falta de material o de reactivos en un momento dado para continuar con el proceso, espera de colas en equipo,... Además, también especifico la probabilidad que tiene el evento de ocurrir y la categoría de éste, es decir, si es humano o procedente del equipo utilizado.

Etapas agregadas	Etapas en la que ocurre el evento	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?	Categoría Evento	
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación tubos centrífuga	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	SI	Humano	Logístico
	Localización de las muestras	0,5	Dispersion de las tarrinas en carro almacenaje y/o laboratorio	10	15	20	SI	Humano	Logístico
	Añadir 2,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión
Adición de Extractante	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	0,125	Falta extractante/valorante	15	20	25	SI	Humano	Gestión
Agitación	Colocar los botes en el agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Centrifugar	Retirar del agitador y colocar en la centrífuga	0,375	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
	Centrifugar 5min	0,8	Error en el equipo y volver a comenzar	2	3	5	SI	Técnico	Técnico
Preparación de muestras para medir	Preparar y codificar Rack con tubos de ensayo	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	SI	Humano	Logístico
	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	0,05	Reposición material consumible	1	2	5	SI	Humano	Logístico
Medida	Medida en ICP	0,05	Reponer QC/ Recalibrar el equipo	10	13	15	SI	Técnico	Técnico

Tabla 3-8: Posibles eventos y su ocurrencia en la determinación del parámetro Bases Disponibles

3.3. Simulación del proceso productivo

Para realizar la simulación tomamos como punto de partida los datos de tiempos tomados en mayo de 2017. A continuación, recopilamos toda la información necesaria de los equipos y recursos necesarios para llevar a cabo los procesos en una jornada de trabajo.

Equipo	Capacidad
Agitador de volteo	6 filas x 12 botes (125ml) = 72 botes 6 filas x 21 tubo de centrifuga=126 tubos
pH metro/ conductivimetro	1 muestra
Medidor UV	1 muestra
Leco	45 muestras+4 muestras de material de referencia (Metionina)
Balanzas	2 balanzas (para pH) 1 balanza analítica (para nitrógeno Dumas y preparación de extractantes y reactivos)
Densímetro	1 densímetro para textura y unas 70 probetas de 1L (equivalente a 70 muestras de suelo)
Centrífuga	16 tubos de centrífug
Agitador de muestra	1 tubo de centrifuga o un tubo de ensayo
ICP-OES	2 equiposx 4 racks de 65 tubos de ensayo= 260+260=520 tubos de ensayo

Tabla 3-9: Capacidades de los equipo para una jornada laboral

Actividad	Numero en stock	Reposición
Reposición de botes normales	270 botes aprox	Cuando se agotan
Lavado de botes normales	Cada 2-3 usos	Al tercer uso
Reposición taponés	540 taponés aprox	Cuando se agotan
Reposición filtros	500 filtros aprox	Cuando se agotan
Reposición tubos centrífuga	500 tubos de centrifuga	Cuando se agotan
Reposición tubos de ensayo	1000 tubos de ensayo de plástico	Cuando se agotan
Limpieza cazuelas LECO		Cuando se agotan
Preparación de extractantes/ reactivos	Olsen 10L Bray 10L Bases Disponibles 10L H2O ultrapura (pH y	Cuando se agotan Cuando se agotan Cuando se agotan Cuando se agotan

	conductividad) 2L Oxalato de Amonio(Caliza Activa) 2L Permanganato de Potasio (Caliza Activa) 2L Superfloculante(Boro) 2L Agua de Osmosis (Textura) 2L L&N(Oligos) 2L	Cuando se agotan Cuando se agotan Cuando se agotan No hace falta reponer Cuando se agotan
--	--	---

Tabla 3-10: Recursos a disponibilidad de los trabajadores en una jornada de trabajo

Una vez tenemos esta información, es posible simular los procesos. Uno de los objetivos de la simulación es obtener el OEE (Overall Equipment Efficiency), ratio porcentual que sirve para medir la eficiencia de productividad de cualquier proceso. Este indicador mide todos los parámetros fundamentales de pérdidas de producción.

En el caso de las personas (OLE, Overall Labor Effectiveness) un OLE óptimo está alrededor del 70%. En el caso de los equipos, sin embargo, al tratarse de un régimen de producción continua en el éstos sólo paran para cambios de formato, ajustes y mantenimientos, como es el caso del ICP y del LECO, un OEE aceptable estará entre el 75% y 85%. Los valores entre el 85% y el 95% se pueden considerar muy buenos, y >95% excelentes.

En la siguiente figura vienen definidos los errores que pueden ocasionar la pérdida de la eficiencia en equipos.

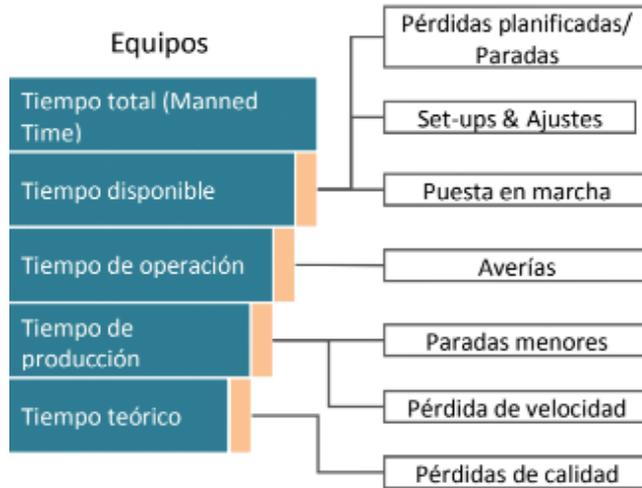


Figura 3-24: Pérdidas de los equipos

Los resultados obtenidos de la simulación de los procesos mediante la simulación es:

Equipos	OEE
Agitador	38%
Centrífuga	15%
ICP1	42%
ICP2	20%
LECO	15%

Tabla3-11: Porcentajes de OEE obtenidos en la simulación

Aunque podemos observar que el indicador de OEE es bajo, debido a la tipología del proceso que no requiere de una alta demanda de estos, al realizar la simulación aparecen cuellos de botellas en el agitador y en la centrífuga a lo largo de la jornada de trabajo. Estos son causados por el comienzo de ciertos procesos al mismo tiempo y que dan lugar a una ocupación del 100% de dichos equipos en el mismo instante.

Otro de los objetivos es obtener el histograma y las estadísticas para conocer cuánto cierta es la previsión que realizamos sobre el ciclo completo y cada uno de los parámetros, para ello utilizamos la simulación Montecarlo, y llegamos a los siguientes histogramas y resumen de estadísticas:

Como ejemplo de uno de los parámetros, adjunto imagen del histograma y del resumen del parámetro Bases Disponibles. Para visualizar tanto los histogramas como el resumen de estadísticas de los demás parámetros, podemos dirigirnos al **Anexo III**.

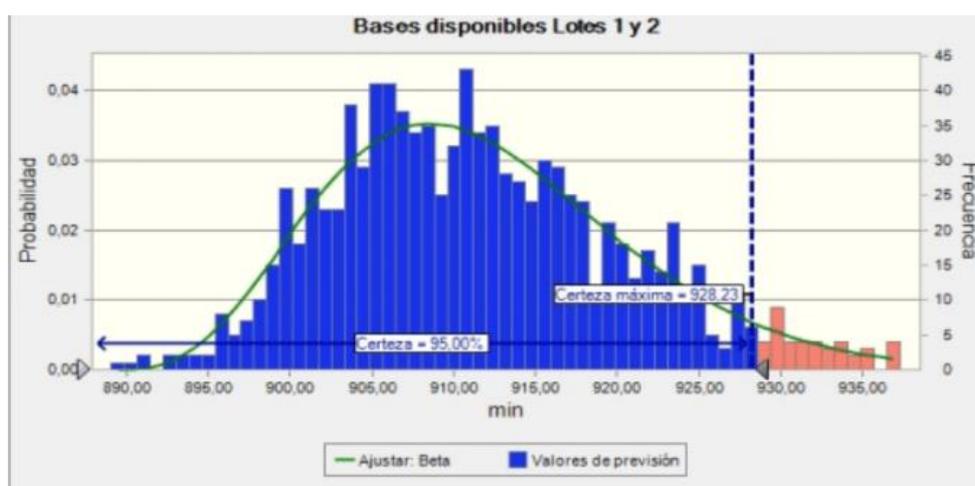


Figura 3-25: Histograma de Bases Disponibles

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1.000
Caso base	0,00
Media	911,66
Mediana	910,70
Modo	---
Desviación estándar	9,13
Varianza	83,45
Sesgo	0,6057
Curtosis	3,35
Coefficiente de variación	0,0100
Mínimo	889,09
Máximo	948,23
Ancho de rango	59,14
Error estándar medio	0,29

Figura 3-26: Resumen de estadísticas de la Simulación de Bases Disponibles

Al conocer la frecuencia con la que ocurren estos datos, podremos saber cuál es la probabilidad de que éstos ocurran. Esto nos permite preveer el tiempo que durará cada uno de los procesos y con ello, reconocer las etapas que provocan los cuellos de botella en el proceso y por lo tanto, las fases que podemos introducir cambios o nuevas tecnologías para que estos tiempos se reduzcan.

3.4. Mejoras realizadas

Una vez acabados el análisis y la observación, la toma de tiempos y la simulación de los procesos, y por consecuente, la identificación de los equipos a los cuales había que buscarles una alternativa o solución para mejorar su eficiencia, mi proyecto ha acabado.

Sin embargo, a continuación, describo las mejoras tecnológicas realizadas posteriormente con el objetivo de conocer la influencia de las mejoras.

3.4.1 Inclusión de bandejas-lote

En el modelo SFL, la condición de trabajar con lotes de 60 muestras (57 de ellas productivas y 3 correspondientes a controles de calidad) ha generado la necesidad de mover todas las alícuotas conjuntamente a lo largo de todas las etapas del proceso de producción, así surge la idea de unas bandejas-lote

Cada bandeja-lote está compuesta por un bastidor de polipropileno (color blanco) con capacidad para portar cinco lineales de policarbonato (transparentes) y estos a su vez pueden albergar 12 matraces Erlenmeyer.

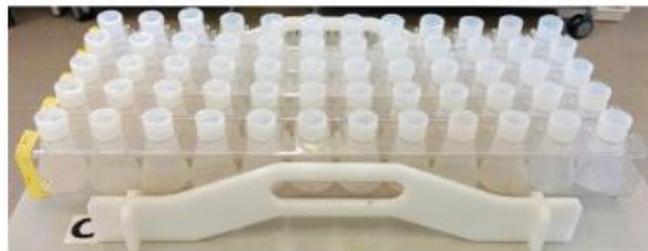


Figura 3-27: ejemplo gráfico de las bandejas-lote

Además, para facilitar y garantizar la gestión visual, así como para eliminar posibles fuentes de errores, en el laboratorio Soil Factory Lab se ha diseñado e implantado un código de colores. De manera que cada color queda asociado a un parámetro y a determinados útiles, reactivos y equipos relacionados con él.

Parámetro	Color
Bases Disponibles	Verde
Caliza	Naranja
Fósforo Olsen	Morado
Fósforo Bray-Kurtz	Amarillo
Oligoelementos	Rojo
Aluminio de Cambio	Rosa
Textura	Marrón
Boro	Gris

Figura 3-28: Código de colores SFL

Con ayuda de este código de colores, la bandeja-lote consta de una fila de cada color para facilitar la identificación de muestras y nos permite reconocer más fácilmente diferentes parámetros de una muestra, para no tener que usar una muestra tantas veces. Este sistema nos aporta agilidad.

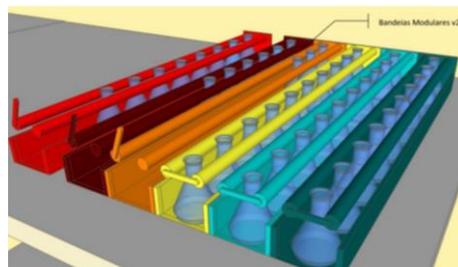


Figura 3-29: código de colores aplicado en las bandejas-lote.

3.4.2 Nuevo Sistema de pesada

Partiendo de la observación de que cada muestra es buscada al menos once veces para ser pesada y que no existe ningún tipo de orden a la hora de dejarla de nuevo en la caja, surge la necesidad de pesar más de un parámetro al mismo tiempo.

El sistema pesada SFL está compuesto por un bastidor articulado de polipropileno, embudos alemanes de plástico y un conjunto de granatarios. Todo el sistema está codificado con el código de colores del SFL para diferenciar así las posiciones de las alícuotas correspondientes a cada parámetro.



Figura 3-30: Sistema de pesada con el código de colores

3.4.3 Sistema de dosificación de reactivo automático

El personal participante de AGQ ha diseñado el equipo de dosificación, con el objetivo de poder introducir las bandejas modulares directamente en el sistema para el análisis de un gran número de muestras de manera rápida, eficiente y fiable.

El desarrollo tenía como objetivo integrar el sistema de dosificación con el de pesada de forma que se compense automáticamente las desviaciones de pesada manteniendo el nivel de dilución establecido en los procedimientos.

El sistema de dosificación permite realizar el proceso para más de un recipiente simultáneamente. Las muestras se colocan en bandejas 5x12 unidades, introduciendo 3 bandejas al día y la dosificación se realiza de cinco en cinco muestras con doce ciclos.

A la hora de controlar dicho sistema, se utiliza un autómatas programable que nos permite configurar el proceso de dosificación.



Figura 3-31: Sistema de dosificación de reactivos automatizado

3.4.4 Introducción del agitador horizontal

Se ha desarrollado un nuevo equipo de extracción mediante el estudio de tecnologías alternativas que mejoren sustancialmente la eficiencia, repetibilidad y calidad de los procesos:

- Aplicación de ultrasonidos: consiste en el uso de las ondas acústicas que, al propagarse por el medio líquido, generan ciclos alternos de alta presión (compresión) y de baja presión (rarefacción), lo cual ejerce un esfuerzo mecánico sobre las fuerzas electrostáticas de atracción, haciendo que las partículas se separen entre si.
- Aceleración de extracción por microondas: se realiza en vasos cerrados para poder calentar el disolvente por encima de su punto de ebullición. Estos vasos cerrados junto con la velocidad y eficacia del calentamiento por microondas, permite realizar extracciones con una cantidad significativamente menor de disolvente, sin sacrificar ni la precisión ni la exactitud.
- Y finalmente, la opción que finalmente se ha elegido, la agitación horizontal. En este método tenemos un agitador, o mezclador, que es un dispositivo que se utiliza en los laboratorios de química y biología para mezclar líquidos o preparar disoluciones y suspensiones.

Un agitador típico tiene una placa o superficie que oscila horizontalmente, propulsado por un motor eléctrico. Los líquidos que van a ser agitados están contenidos en vasos, tubos o matraces Erlenmeyer que se colocan sobre la superficie vibrante o, a veces, en tubos de ensayo o viales que se insertan en los agujeros de la placa.

En este caso, se ha introducido el agitador de bandeja, el cual consta de una bandeja que posee un movimiento circular mediante un motor que lo controla. También pueden tener movimientos de balanceo, orbital o vibraciones



Figura 3-32: Agitador Horizontal

Este agitador consta de dos bandejas horizontales, puestas a dos diferentes alturas. Esto nos permitirá realizar el proceso de extracción con un número de muestras mayor simultáneamente.

Además, su eje de rotación es sólo en los ejes XY, haciéndolo un proceso más simple y ordenado, y permitiendo que las muestras puedan ser recogidas sin que éste tenga que estar parado, lo que constituye una gran ventaja con respecto al volteador.

Al tener dos agitadores en nuestro laboratorio, el número de muestras realizado sería de 60 muestras x 2 bandejas x 2 alturas x 2 agitadores=480 muestras.

3.4.5 Sistema de Filtración múltiple

En este caso, se ha buscado automatizar el proceso, ya que el anterior ralentizaba mucho el proceso general. El Sistema de filtración diseñado y desarrollado por el equipo de AGQ ha consistido en una estructura con orificios para ejecutar, a la vez, múltiples filtraciones de las muestras de suelo, previo a su sometimiento a análisis. A este Sistema le denominaremos Sistema de filtración múltiple.

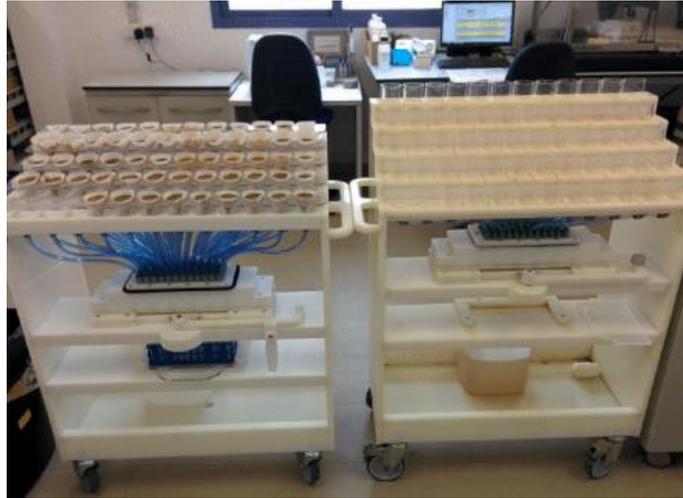


Figura 3-33: Sistema de filtración múltiple desarrollado

3.4.6 Nuevos equipos de medida

3.4.6.1 Skalar

Se trata de un equipo alternativo al medidor de pH y conductividad. El Skalar ejecuta de forma autónoma todo el proceso tras completar la calibración, que se realiza diariamente, y las etapas de programación del mismo.

Una vez las muestras se encuentran situadas en sus correspondientes racks y éstos situados en sus posiciones en el Skalar, estamos en disposición de comenzar a medir con el equipo.

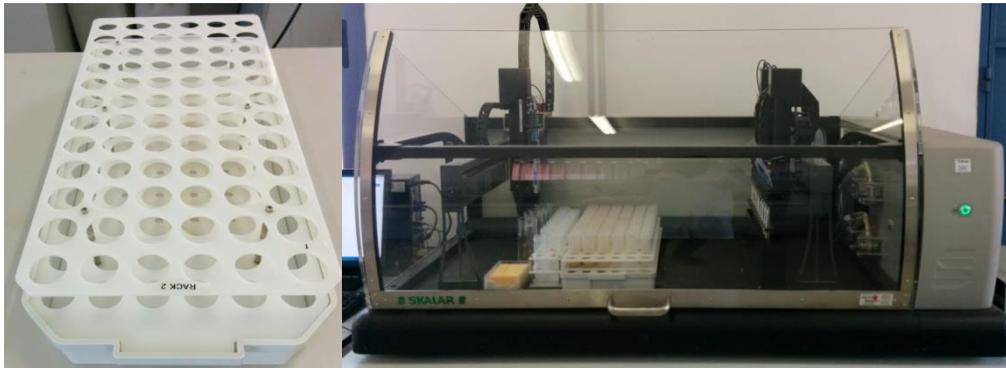


Figura 3-34: Rack de muestras y Skalar preparado para medir.

La exportación de la medida del equipo se puede realizar de la totalidad de las muestras o de una parte de ellas. El proceso se realiza desde la ventana de programación, y se envía directamente a la base de datos del laboratorio.

3.4.6.2 Valorador Automático

Se ha introducido un valorador automático como alternativa automatizada al procedimiento manual de determinación de la caliza activa.

Este equipo realizará automáticamente todas las tareas necesarias añadiendo, además, una ventaja: el envío de los datos obtenidos directamente a la base de datos.



Figura 3-35: Valorador automático

Este sistema incluye el procesador de muestras, dos dosinos, dos unidades de dosino (pipeteo con permanganato potásico), un dosimat con ácido sulfúrico y un procesador de datos.

3.4.6.3 Método por difracción láser

Este método surge como alternativa al proceso de determinación de la textura, el cual además de tener alta componente manual, da resultados poco precisos y de baja calidad. A su vez la sensibilidad del método solo permite ver algunas fracciones del suelo (arena, limo y arcilla).

Debido a esto, AGQ ha buscado una técnica que permitiera medir más fracciones y desarrollar algunos indicadores secundarios relacionados con el comportamiento físico del suelo y su relación con el agua.

Para ello se eligió el método por difracción láser. La difracción láser es una técnica utilizada para determinar el tamaño de la partícula y distribuciones de tamaño de $0,1\mu\text{m}$ a $2000\mu\text{m}$.

En el momento que una partícula interfiere en un haz láser, se produce una dispersión de la luz con un ángulo relacionado con el tamaño de la partícula. La luz dispersada incide sobre un detector; el patrón generado sobre este nos permite diferenciar los diferentes tamaños de partícula.

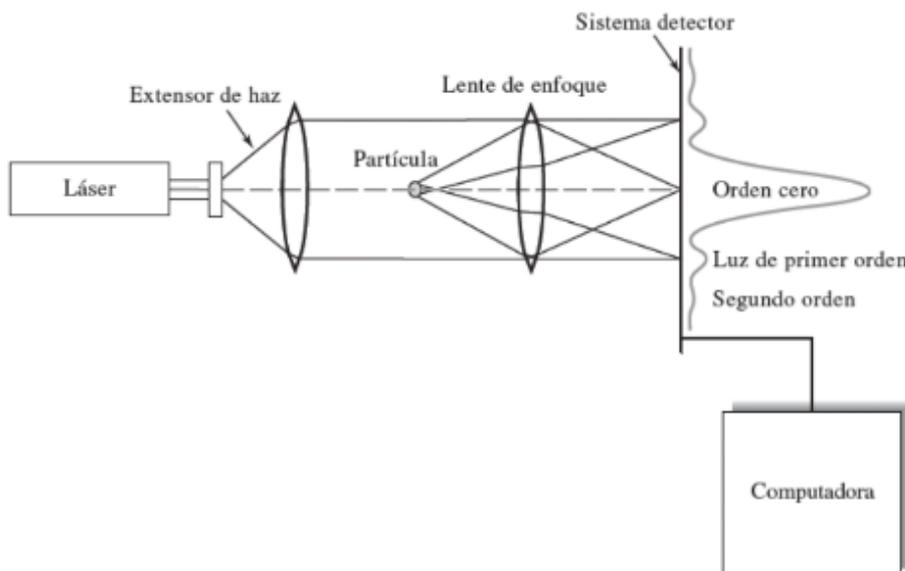


Figura 3-36: Esquema de un equipo de difracción láser.

La clasificación de textura según el tamaño de la partícula para la difracción laser es:

Suelo	Diámetro (µm)
Arcilla	50-2000
Limo	5.5-50
Arena	<5.5

Tabla 3-12: Clasificación de suelos para la difracción laser

La determinación de la textura en suelos requiere que las partículas estén dispersas en una solución acuosa, una suspensión de suelo bien dispersada es un factor clave para una media fiable y reproducible del tamaño de partícula y de la distribución de tamaños.

3.4.6.4 Ampliamento del uso del ICP

Después del estudio de posible mejoras para algunos parámetros, AGQ ha llegado a la conclusión que con la utilización del ICP no se obtienen grandes desviaciones de resultados, y hacen que el procedimiento sea más barato y con un tiempo de respuesta menor. Por ello, se adopta como nuevo método óptimo el ICP para los siguientes parámetros:

- Boro

Símbolo	Longitud de onda(nm)/Orden	Medida
B	249.773 {135}	Axial

Tabla 3-13: Longitud de onda del boro para su determinación en el ICP

- Fósforo

Símbolo	Longitud de onda(nm)/Orden	Medida
P	213,618 {458}	Axial

Tabla 3-14: Longitud de onda del fósforo para su determinación en el ICP

3.4.7 Envío automático de información de los equipos al SIL

La mejora producida en el SIL es que a partir de ahora, los datos se introducirán a través de los equipos de medida, evitando la introducción manual.

Para revisar que no se ocasionen errores en los informes, el responsable de laboratorio o la persona que éste indique, revisará periódicamente que no existen muestras fuera de su rango. Para ello el sistema enviará correos periódicos cada hora a un recipiente común con las incidencias que se hayan producido.

4 RESULTADOS

El objetivo principal de esta memoria era el análisis, observación, toma de datos y simulación de la situación actual para el posterior estudio de las mejoras a realizar. Esto se ha llevado a cabo gracias a metodologías como la de IDEF y la esquematización de procesos en la etapa de observación, el procedimiento de estudio de tiempos por cronómetro en la etapa de toma de datos y con la aplicación de Crystal Ball en la etapa de la simulación de dichos procesos. Los resultados que hemos obtenido de la situación actual han sido detallados en el apartado correspondiente.

Además, aún sin ser parte del objetivo, esta memoria incluye la mención y definición escueta de las mejoras realizadas posteriormente por el laboratorio para suplir las mejoras que antes hemos determinado como necesarias.

Como parte de mi conclusión o resultado de esta memoria voy a utilizar herramientas ya utilizadas anteriormente para escenificar el resultado final. Usando el diagrama IDEF, nos centramos en el nivel 1 del proceso de la determinación de parámetros que es donde nos hemos centrado a la hora de ejecutar las mejoras necesarias:

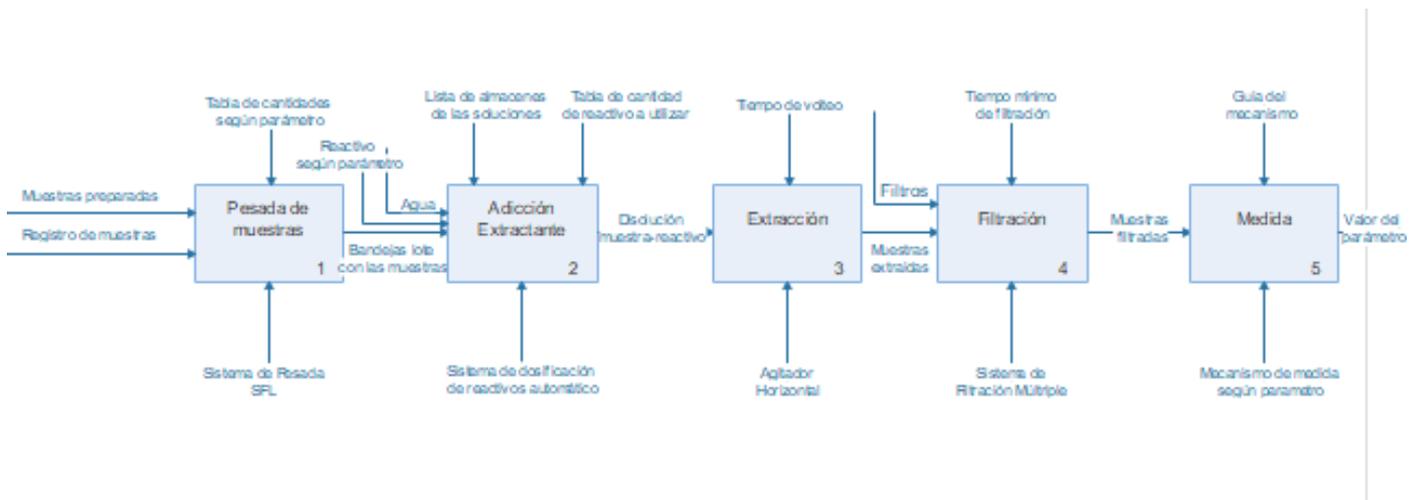


Figura 4-1: Nivel A-1 de la determinación de parámetro

Comparando el diagrama inicial con el final, podemos observar que se han producido cambios en cada una de las etapas con el objetivo de aumentar la eficiencia y la productividad.

Sin embargo, llama la atención el hecho de que aún siendo diferentes las metodologías, ni los controles, ni las entradas o salidas han cambiado. Esto nos permite afirmar que el nuevo proceso sigue siendo fiel al proceso anterior pero con una mejora en la productividad y en la eficiencia.

Para realizar un esquema final, o conclusión final del Proyecto, resumo en un diagrama de proceso la situación final del Soil Factory Lab, tras diagnosticar los fallos o cuellos de botella e introducir las mejoras oportunas:

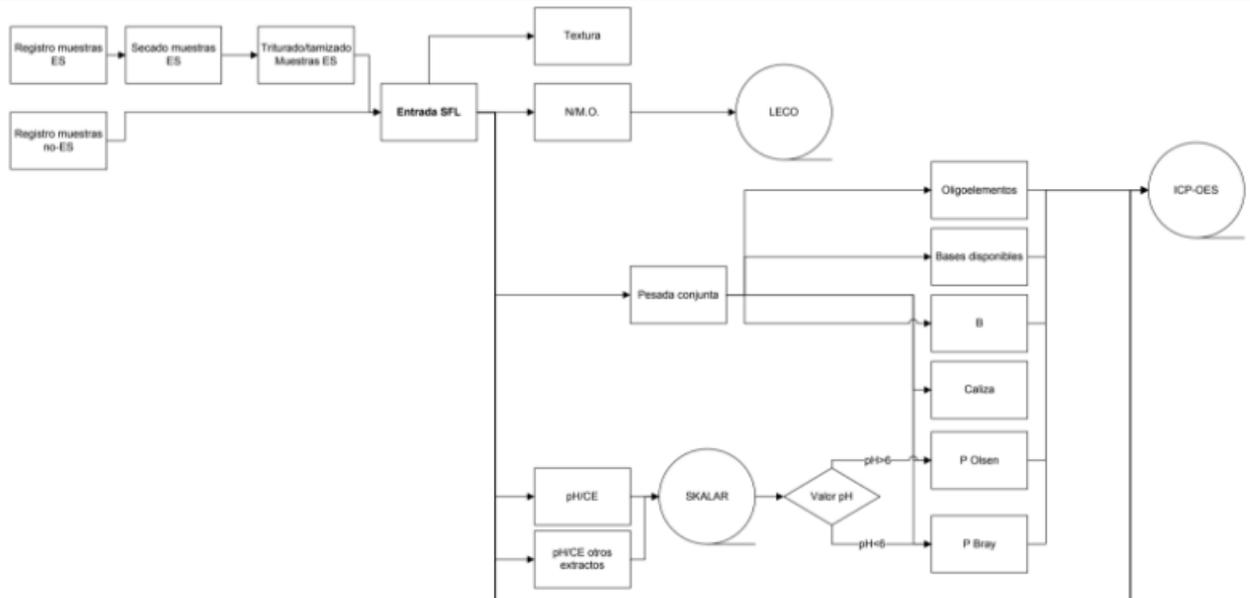


Figura 4-2: Esquema final del SFL

Con estos cambios, se observan grandes diferencias en los tiempos de respuesta, sobre todo en el caso del boro, el fósforo (bray y olsen). Para explicar este cambio voy a utilizar los histogramas aportados una vez se ha hecho la previsión de estos parámetros con el ICP:

- Boro

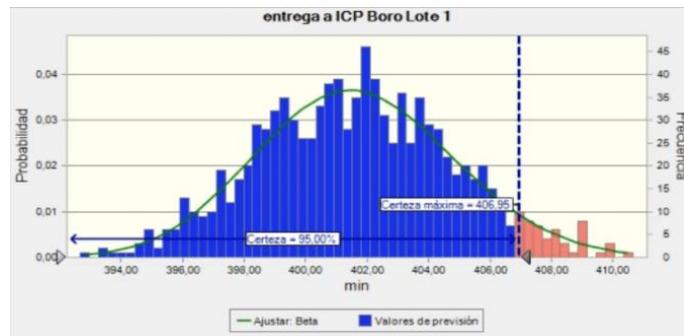


Figura 4-3: Histograma del Boro medido con el ICP

Comparando este histograma con el anterior realizado en la situación inicial, podemos observar que mientras que el tiempo aproximado del boro en el ICP son de unos cuatrocientos minutos aproximadamente, cuando el boro se realizaba de la manera inicial era de unos ochocientos diez aprox, aportando una gran diferencia al proceso general.

Esto mismo ocurre con el fósforo, olsen y bray, que partiendo en un principio de seiscientos minutos, gracias al ICP sólo transcurren trescientos cuarenta para que el proceso se ejecute.

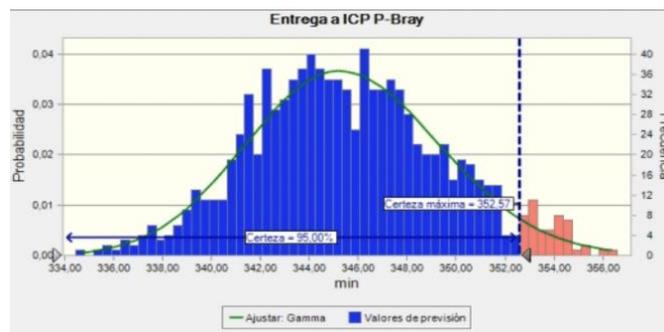


Figura 4-4: Histograma del Fósforo medido con el ICP

De esta manera, el histograma del ciclo completo quedaría:



Figura 4-5: Histograma del ciclo completo

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0,00
Media	911,66
Mediana	910,70
Modo	---
Desviación estándar	9,13
Varianza	83,45
Sesgo	0,6057
Curtosis	3,35
Coefficiente de variación	0,0100
Mínimo	889,09
Máximo	948,23
Ancho de rango	59,14
Error estándar medio	0,29

Figura4-6: resumen estadístico del ciclo completo

Es decir, casi el mismo tiempo que antes necesitábamos para ejecutar un único proceso ahora, con las mejoras introducidas, nos es suficiente para completar el ciclo completo. Por ello, concluyo con que el objetivo de esta memoria ha sido conseguido pues las mejoras realizadas por el laboratorio tras el análisis han desembocado en la creación de un laboratorio tecnológico, más eficiente, rentable y productivo.

CONCLUSIONES

Para concluir la memoria, revisaremos los objetivos que en un principio nos hemos propuesto y analizaremos si estos han sido logrados. Para ello, asociaremos cada uno de los resultados obtenidos con el objetivo al cual se refieren.

En un primer lugar, el objetivo general se trataba de dotar al nuevo laboratorio de la empresa AGQ de la más alta tecnología y diseño productivo para que ésta pueda ofrecer los mejores tiempos de respuesta y los precios más competitivos del mercado. Para ver si hemos conseguido dicho objetivo analizaremos los objetivos específicos que nos propusimos, ya que si estos han sido conseguidos, el objetivo general también habrá sido alcanzado.

- Observación y descripción en detalle de las distintas fases del proceso, definiendo clara y concisamente el procedimiento a seguir en cada una de ellas.

Tal y como el objetivo específico plantea, se ha realizado una descripción en detalle del proceso y de sus respectivas etapas, además ha sido complementada mediante una esquematización, incluyendo fotografías de la ejecución de dichas etapas.

Además de esto, he utilizado los diagramas IDEF, nivel A-0 y nivel A-1 para explicar de una manera clara y concisa las entradas y salidas de cada una de las etapas, sus metodologías a aplicar y las restricciones que éstas podrían tener.

Con ello, podemos decir que el objetivo ha sido conseguido.

- Análisis de tiempos de la situación y los eventos que pudiesen atrasar cada una de las etapas, las probabilidades que éstos tienen de ocurrir y el motivo de que estos ocurran.

El segundo objetivo plantea la necesidad de medir los tiempos que cada etapa necesita para ser llevada a cabo y de identificar los eventos que pueden atrasar dichos tiempos. Para ello he utilizado el método del cronómetro, y con ayuda de las notas de la fase de observación, se ha realizado una tabla de eventos que nos ha permitido valorar sus probabilidades y causas.

- Simulación del proceso, y por lo tanto, del diagnóstico final de los cuellos de botella del proceso general.

Para conseguir este objetivo, hemos utilizado diferentes tablas que parten de la observación y, con ayuda del programa Crystal Ball y su aplicación de simulación Montecarlo, hemos simulado el proceso.

Para conocer los cuellos de botellas hemos determinado el valor del OEE de cada uno de los equipos y hemos podido visualizar los diferentes histogramas y estadísticas de cada uno de los parámetros y sus procesos, tanto en la situación inicial como en la final.

Esto no sólo nos ha permitido conseguir el anterior objetivo sino también avanzar en la consecución del siguiente.

- Identificación de aspectos que comprometan el proceso, la calidad del resultado o impidan que sea lo más productivo, eficaz, eficiente y rentable posible.

Gracias a la simulación, hemos podido reconocer los equipos, etapas o parámetros que retrasan el proceso general y que generan colas, y tiempos de respuesta altos.

Esto lo hemos conseguido gracias a la comparación realizada entre los histogramas (es decir, entre previsiones de tiempo de cada uno de los parámetros) de la situación inicial y la final, y a sus respectivas estadísticas.

Además de todas las metodologías mencionadas, para la ejecución de este proyecto ha sido esencial la colaboración del personal de laboratorio, y de la información que ellos han podido aportarme.

Por todo esto, concluyo con que tanto el objetivo general, como los objetivos específicos de esta memoria han sido alcanzados con éxito.

REFERENCIAS

- [1] B. S. López, «ingeniería industrial online,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/>.
- [2] B. S. López, «ingeniería industrial online,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/herramientas-para-el-estudio-de-tiempos/>
- [3] Riaño Rupilanchas, Daniel (2017). «On the origin of Karl Pearson's term "histogram"». Revista Estadística Española 192: 29-35. ISSN 2254-9390.
- [4] Nava Gómez, Javier . Elementos de Probabilidad y Estadística (Apuntes de clase). Universidad de Guadalajara.
- [5] Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española (2014). «median». Diccionario de la lengua española (23.ª edición). Madrid: Espasa. ISBN 978-84-670-4189-7.
- [6] J. Faulín, «CYTA,» septiembre 2005. [En línea]. Available: http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/monte_carlo/monte_carlo.htm.
- [7] C. Azofeifa, «Aplicación de la Simulación de Montecarlo,» de Tecnología en marcha, p. Vol. 17 N° 1..
- [8] B. S. López, «ingeniería industrial online,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/aplicaci%C3%B3n-del-tiempo-est%C3%A1ndar/>
- [9] Métodos y tiempos. El estudio del trabajo para la productividad,» 2000-2008.
- [10] En línea]. Available: <https://agqlabs.es/conoce-agq-labs/>.

GLOSARIO

AGQ:	23
SFL: Soil Factory Lab	25
SIL: Sistema Informático de Laboratorio	41
IDEF: Integration DEFinition	36
OEE: Overall Equipment Efficiency	58

Anexo I: Esquema de las etapas de cada uno de los parámetros

En este Anexo, adjunto los esquemas de cada uno de los procesos de determinación de los parámetros, los cuales constan de fotografías de las etapas y su definición.

- pH



Figura A1-1: esquema del pH

- Conductividad

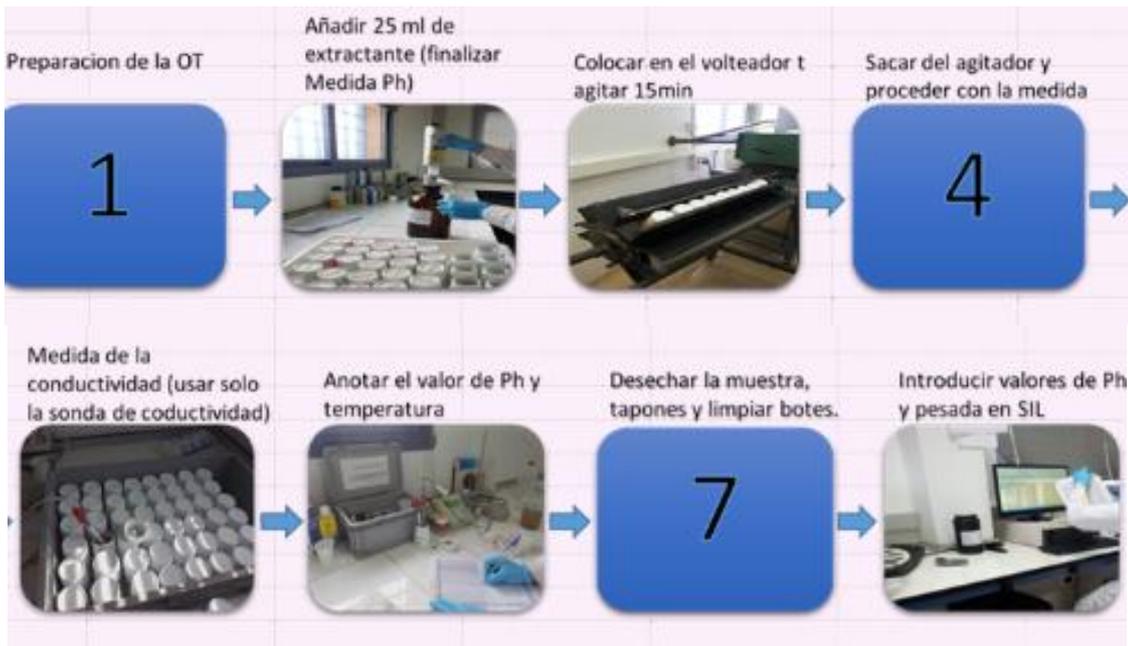


Figura A1-2: esquema de la conductividad

- Textura



Figura A1-3: esquema de la textura

- Caliza Activa

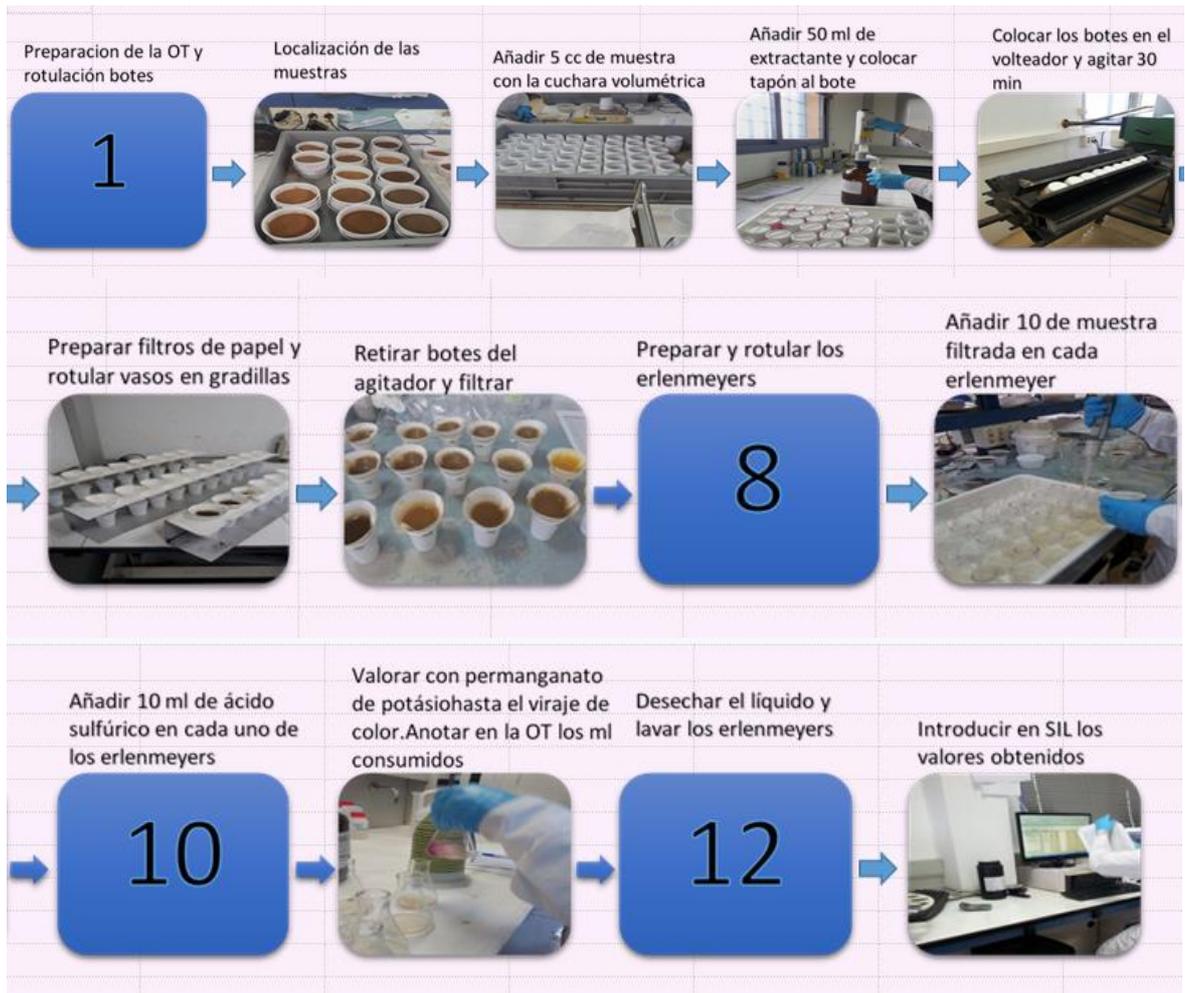


Figura A1-4: esquema de la caliza activa

- Oligoelementos





Figura A1-5: esquema de los oligoelementos

- Fosforo Bray

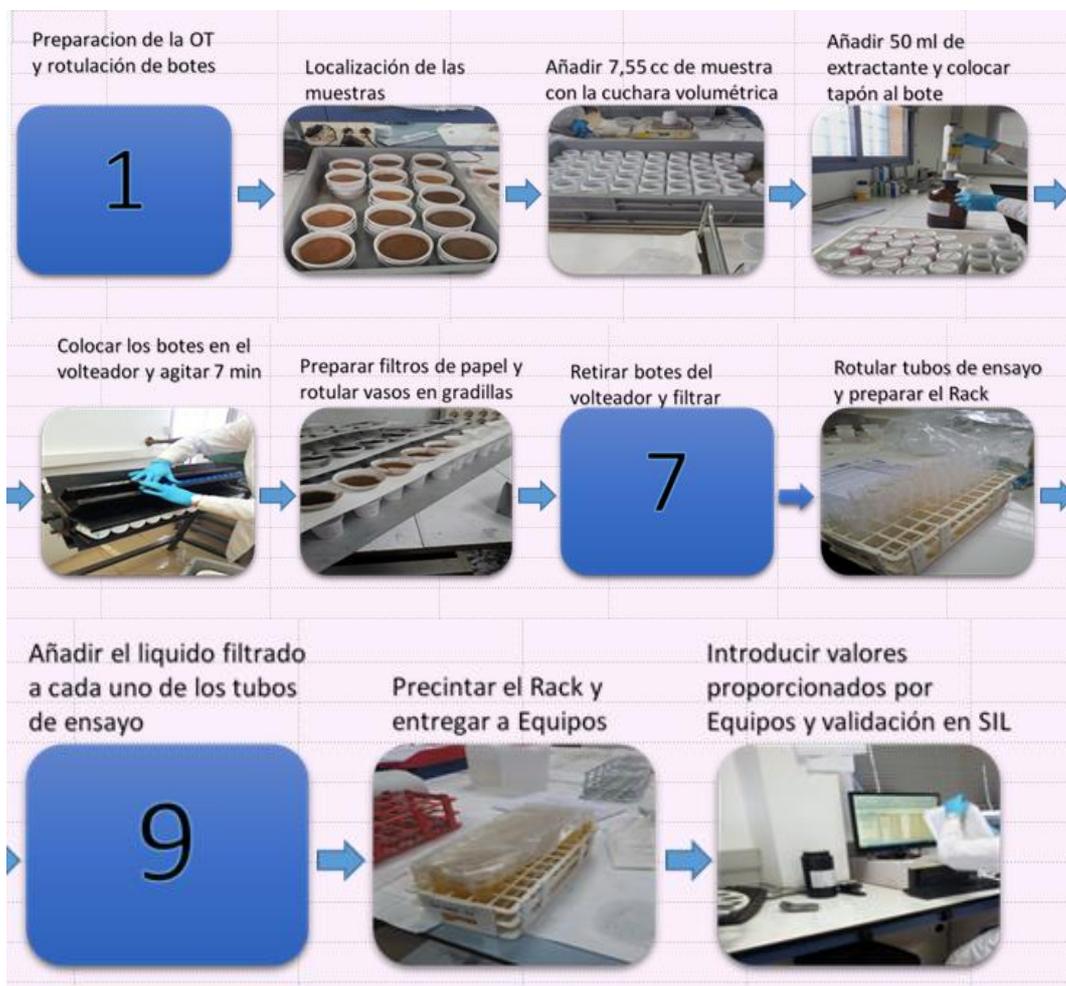


Figura A1-6: esquema del fósforo Bray

- Fosforo Olsen



Figura A1-7: esquema del fósforo Olsen

- Boro





Figura A1-8: esquema del Boro

- Nitrógeno



Figura A1-9: esquema del nitrógeno

Anexo II: Etapa de estudio de tiempos de los parámetros

En este Anexo recopilo la información obtenida del proceso de estudio de tiempos de los parámetros restantes. Este proceso incluye la toma de tiempos, realizada por cronómetro, la tabla de distribución de tiempos y la tabla de eventos que pueden ocasionarse. Los parámetros son los siguientes:

- pH

	Preparación de la OT y rotulación de botes	Localización de las muestras	Tarar bote en la balanza y añadir 10 cc de muestra	Anotar el valor de la pesada de cada muestra en la OT	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	Colocar en el voltador y agitar durante 15 min	Retirar del agitador y reposar 30 min	Calibración del medidor de Ph	Medida del Ph en cada muestra	Anotar el valor de Ph y la temp en la OT	Introducir valores de Ph y pesada en S/L
Determinación de Ph (50 Suelos + muestra doble)	12	10	25.5	4.5	10	20	35	17.5	83	15	
									55		
									73		
									78		
									88		
									84		
									56		
									153		
									91		
									84		
									119		
									121		
									59		
									97		
									59		
									92		
									63		
									92		
									79		
									78		
									89		
									90		
									55		
									85		
									81		
									71		
									89		
									95		
									86		
									82		
79											
92											
105											
88											
94											
81											
77											
79											
86											
78											
89											
93											
79											
82											
93											
87											
90											
89											
73											
..											

Figura A2-1: Proceso de toma de tiempos del parámetro pH para 50 muestras

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	Que haya botes y tapones suficientes	100	9	12	13,5	SI

	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	8	10	12	SI
	Tarar bote en la balanza y añadir 10 cc de muestra	Que esté la cuchara disponible en el cajón y la balanza disponible	100	23	25,5	28	SI
Adición de Extractante	Anotar el valor de la pesada de cada muestra en la OT		100	2	3	5	SI
Agitación	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para el ensayo	100	9	10	11	SI
	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	3	5	6	SI
Centrifugar	Agitar durante 15 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	15	16	19	SI
	Retirar del agitador y reposar 30 min		15	33	35	37	SI
Preparación de muestras para medir	Calibración del medidor de Ph	Que el PH-metro esté disponible y estén los patrones de calibración.	100	10	12	15	NO
	Medida del Ph en cada muestra y anotar el valor en la OT	Que el equipo no tenga ningún error durante el proceso	100	65	72	84	SI
	Introducir valores de Ph y pesada en SIL		100	10	15	18	SI
Medida	Preparación de la OT y rotulación de botes	Que haya botes y tapones suficientes	100	9	12	13,5	SI
Reporte en SIL	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	8	10	12	SI

Tabla A2-1: distribución de tiempos de pH

Etapas agregadas	Etapas en la que ocurre el evento	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista	¿T depende del número de muestras?	Categoría Evento
------------------	-----------------------------------	-----------------------	--------	--------------------------------------	------------------------------------	------------------

Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Localización de las muestras	0,5	Dispersión de las tarrinas en carro almacenaje y/o laboratorio	10	15	20	SI	Humano	Logístico
	Tarar bote en la balanza y añadir 10 cc de muestra	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión
Adición de Extractante	Anotar el valor de la pesada de cada muestra en la OT								
Agitación	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	0,4	Falta extractante/valorante	3	5	7	NO	Humano	Gestión
Centrifugar	Colocar los botes en el agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
	Agitar durante 15 min	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Preparación de muestras para medir	Retirar del agitador y reposar 30 min								
	Calibración del medidor de Ph	0,2	Cola de recurso de laboratorio	5	12	15	SI	Humano	Gestión
Medida	Medida del Ph en cada muestra y anotar el valor en la OT	0,1	Calibración del equipo de medida	10	12	15	NO	Técnico	Técnico

Tabla A2-2: Eventos y sus probabilidades del parámetro pH

• Conductividad

	Tiempo de operación en minutos por OT (Min/OT)				Tiempo en segundos/muestra (s/Muestra)		Tiempo en minutos por OT (Min/OT)	
	Preparación de la OT	Añadir 25 ml de extractante	Colocar en el rotador y agitar durante 15 min	Retirar del agitador	Medida de la conductividad en cada muestra	Anotar el valor de conductividad en la OT	Introducir valores de conductividad en SIL	Deschar muestra y tapones. Lavar botes
Determinación de conductividad (45 Suelos + muestra doble)	10	5	19.5	4.5	96	15	10	
					30			
					33			
					97			
					58			
					59			
					63			
					150			
					46			
					59			
					35			
					66			
					77			
					46			
					48			
					45			
					29			
					41			
					39			
					37			
					36			
					64			
					74			
					38			
					65			
					84			
					96			
					76			
					72			
					29			
					29			
					190			
					54			
					67			
					60			
					69			
					32			
					36			
					59			
					68			
					54			
					29			
					28			
					66			
					50			
82								

Figura A2-2: Proceso de toma de tiempos del parámetro Conductividad para 45 muestras

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	Que haya botes y tapones suficientes	100	9	10	11	SI
Adición de Extractante	Añadir 25 ml de extractante	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para el ensayo	100	4	5	6	SI
	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	3	5	6	SI
Agitación	Agitar durante 15 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	16	17	18	SI
	Retirar del agitador		100	3	4,5	7	SI
Medida	Medida de la conductividad en cada muestra y anotar el valor en	Que el equipo no tenga ningún error durante el proceso	100	40	47	57	SI

	OT							
Reporte en SIL	Introducir valores de conductividad en SIL		100	10	15	18	SI	

Tabla A2-3: distribución de tiempos del parámetro Conductividad

Etapas agregadas	Etapa en la que ocurre el evento	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?	Categoria Evento	
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes								
Adición de Extractante	Añadir 25 ml de extractante	0,4	Falta extractante/valorante	3	5	7	NO	Humano	Gestión
Agitación	Colocar los botes en el agitador								
	Agitar durante 15 min Retirar del agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Medida	Medida de la conductividad en cada muestra y anotar el valor en OT	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
SIL	Introducir valores de conductividad en SIL								

Tabla A2-4: Eventos y sus probabilidades del parámetro Conductividad

- Caliza Activa

	Tiempo de operación en minutos por OT (Min/OT)												
	Preparación de la OT y rotulación botes	Localización de las muestras	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	Colocar en el agitador y agitar durante 30 min	Preparar papeles de filtro, rotular vasos y colocar en las gradillas	retirar del agitador y filtrar en los papeles de filtro	Preparación y rotulado de erlenmeyers	añadir 10ml de líquido filtrado de muestra en cada erlenmeyer	Añadir 10 ml de ácido sulfúrico en cada erlenmeyer	Valorar con permanganato potásico hasta el cambio de color. Anotar ml de solución consumida en la OT	Desecar el líquido de forma adecuada y lavar erlenmeyers	Introducir en SI los valores obtenidos
Determinación Caliza activa (35 muestras + muestra doble) (Ph>7)	8	5	6,5	4	35	5	57	3	9	4	25	5	7
				4 + (preparación reactivo 8,5 minutos más)			57 + (Preparación valorante 14 minutos más)				100		

Figura A2-3: Toma de tiempos del proceso de determinación del parámetro Caliza Activa

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación botes	Que haya botes y tapones suficientes	100	7,5	8	8,5	SI
	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	4	5	6	SI
	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Que esté la cuchara disponible en el cajón	100	6	6,5	8	SI
Adición de Extractante	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para el ensayo	100	3,5	4	5	SI
Agitación	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	3	5	6	SI
	Agitar durante 30 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	31	32	40	SI
Filtración	Preparar papeles de filtro, rotular vasos y colocar en las gradillas	Que haya papel, vasos, y gradillas disponibles	100	4	5	6	SI
	retirar del agitador y filtrar en los papeles de filtro	Depende del tipo de suelo	10	55	57	60	SI
Preparación de muestras	Preparación y rotulado de	Que haya erlenmeyers	100	2,5	3	4	SI

para medir Medida	erlenmeyers							
	añadir 10ml de líquido filtrado de muestra en cada Erlenmeyer		100	8	9	10	SI	
	Añadir 10 ml de ác sulfúrico en cada Erlenmeyer	Que haya Ac.sufúrico	100	3	4	5	SI	
	Valorar con permanganato potásico hasta el cambio de color. Anotar ml de solución consumida en la OT	Que haya permanganato potásico	100	22	25	30	SI	
Finalización de la medida	Desechar el líquido de forma adecuada y lavar erlenmeyers		100	4	5	7	SI	

Tabla A2-5: distribución de tiempos del parámetro Caliza Activa

Etapas agregadas	Etapa en la que ocurre el evento	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?	Categoria Evento	
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación botes	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Localización de las muestras	0,5	Dispersion de las tarrinas en carro almacenaje y/o laboratorio	10	15	20	SI	Humano	Logístico
	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión
Adición de Extractante	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	0,875	Falta extractante/valorante	8	10	13	NO	Humano	Gestión

Agitación	Colocar los botes en el agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Filtración	Agitar durante 30 min								
	Preparar papeles de filtro, rotular vasos y colocar en las gradillas	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
Preparación de muestras para medir	retirar del agitador y filtrar en los papeles de filtro								
	Preparación y rotulado de erlenmeyers	0,05	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	añadir 10ml de líquido filtrado de muestra en cada erlenmeyer								
Medida	Añadir 10 ml de ácido sulfúrico en cada erlenmeyer	0.2	Falta extractante/valorante	15	20	25	NO	Humano	Gestión
	Valorar con permanganato potásico hasta el cambio de color. Anotar ml de solución consumida en la OT	0.2	Falta extractante/valorante	14	16	18			
Finalización de la medida	Desechar el líquido de forma adecuada y lavar erlenmeyers								

Tabla A2-6: Eventos y posibilidades del parámetro Caliza Activa

- Textura

	Tiempo de operación en minutos por OT [Min/OT]													
	Preparación de la OT y rotulación de botes	Localización de las muestras	Añadir 20 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Añadir 50 ml de H ₂ O + 20 ml dispersante y colocar tapón	Colocar en el agitador y agitar durante 30 min	Colocar las probetas sobre la mesa y codificarlas con cada una de los códigos de la OT	Añadir 700 ml de agua osmotizada aproximadamente a cada probeta	Retirar los botes del agitador y añadirlo en su probeta correspondiente	Enrasar las probetas con agua osmotizada hasta los 1000ml	Agitar con émbolo, esperar 40" y medir la densidad	Dejar reposar el líquido 2 horas en la probeta antes de volver a medir	Medir la densidad, esta vez no se agita con el émbolo	Deshechar el líquido y limpiar las probetas y botes	Introducir valores en SI
Determinación Textura (45 muestras + muestra doble)	7,7	7	12	17	40	10	7,5	11	9	50	120	52	10	12

Figura A2-4: Toma de tiempos del parámetro Textura

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	Que haya botes y tapones suficientes	100	7	7,7	8	SI
	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	6	7	8	SI
	Añadir 20 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Que esté la cuchara disponible en el cajón	100	11	12	13	SI
Adición de Extractante	Añadir 50 ml de H ₂ O + 20 ml dispersante y colocar tapón	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para el ensayo	100	5,5	6	6,5	SI
Agitación	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	3	5	6	SI
	Agitar durante 30 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	31	32	40	SI
Preparación de muestras para medir	Colocar las probetas sobre la mesa y codificarlas con cada una de los códigos de la OT	Que haya probetas suficientes	100	8	10	13	SI
	Añadir 700 ml de agua osmotizada aproximadamente a cada probeta	Que no haya agua osmotizada disponible	100	6	7,5	10	SI
Medida	Retirar los botes del agitador y añadirlo en su probeta correspondiente		100	10	11	13	SI
	Enrasar las probetas con agua osmotizada hasta los 1000ml	Que no haya agua osmotizada disponible	100	8	9	11	SI

	Agitar con émbolo, esperar 40" y medir la densidad	Que el densímetro y émbolo esté disponible	100	45	50	55	SI
	Dejar reposar el líquido 2 horas en la probeta antes de volver a medir		0	120	121	123	NO
	Medir la densidad, esta vez no se agita con el émbolo	Que el densímetro esté disponible	100	45	52	55	SI
Finalización de la medida	Desechar el líquido y limpiar las probetas y botes		100	8	10	12	SI
Reporte en SIL	Introducir valores en SIL		100	10	12	14	SI

Tabla A2-7: Distribución de tiempos del parámetro Textura

Etapas agregadas	Etapa en la que ocurre el evento	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?	Categoria Evento	
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Localización de las muestras	0,5	Dispersion de las tarrinas en carro almacenaje y/o laboratorio	10	15	20	SI	Humano	Logístico
	Añadir 20 cc de muestra con la cuchara volumétrica	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión
Adición de Extractante	Añadir 50 ml de H ₂ O + 20 ml dispersante y colocar tapón	0,4	Falta extractante/valorante	15	20	25	NO	Humano	Gestión
Agitación	Colocar los botes en el agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Filtración Preparación	Agitar durante 30 min								
	Colocar las	0,05	Reposición material	1	2	5	NO	Humano	Logístico

de muestras para medir	probetas sobre la mesa y codificarlas con cada una de los códigos de la OT		consumible						
Preparación de muestras para medir	Añadir 700 ml de agua osmotizada aproximadamente a cada probeta	0,1	Reponer agua osmotizada	1	3	5	No	Humano	Gestión
	Retirar los botes del agitador y añadirlo en su probeta correspondiente								
Medida	Enrasar las probetas con agua osmotizada hasta los 1000ml	0,1	Reponer agua osmotizada	1	3	5	NO	Humano	Gestión
Medida	Agitar con émbolo, esperar 40" y medir la densidad	0,05	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión
	Dejar reposar el líquido 2 horas en la probeta antes de volver a medir								
	Medir la densidad, esta vez no se agita con el émbolo	0,05	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión

Tabla A2-8: Eventos y probabilidades del parámetro Textura

- Fósforo Olsen

	Tiempo de operación en minutos por OT (Min/OT)															
	Preparación de la OT y rotulación de botes	Localización de las muestras	Añadir 2,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	Colocar en el volador y agitar durante 30 min	Preparar filtros de papel, rotular vasos y colocarlos en las gradillas con carbón activo	Retirar botes del agitador y filtrar	Rotular tubos de ensayo para medir UV	Pipetear el líquido totalmente en el tubo de ensayo	Pipetear el reactivo Olsen al tubo de ensayo	Agitar el tubo de ensayo en el agitador de muestra	Agitar en el ultrasonidos 5 min	Reposar la muestra 30 min	Preparar la recta de calibración del refractómetro con los patrones	Medir las muestras en el refractómetro	Introducir valores obtenidos y validar en SI
Determinación P Olsen (P=7 (2 muestras + muestra doble))	7	4	2,5	2	40	4	240	5	6	2,5	1	5	30	8,7	6	15

Figura A2-5: Toma de tiempos del parámetro P Olsen

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	Que haya botes y tapones suficientes	100	5	7	10	SI
	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	2	4	7	SI
	Añadir 2,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Que esté la cuchara disponible en el cajón	100	2	2,5	3	SI
Adición de Extractante	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para el ensayo	100	2	2,5	3	SI
Agitación	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	1	2	3	SI
	Agitar durante 30 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	31	32	40	SI
Filtración	Preparar filtros de papel, rotular vasos y colocarlos en las gradillas con carbón activo	Que haya papel, vasos, carbón activo suficientes y gradillas disponibles	100	3	4	6	SI
	Retirar botes del agitador y filtrar	Depende del tipo de suelo	<1%	200	240	280	SI
Preparación colorimétrica para medir concentración de P	Rotular tubos de ensayo para medir UV	Que haya tubos de ensayo suficientes	100	4	5	6	SI
	Pipetear el líquido totalmente incoloro al tubo de ensayo	Que haya puntas de pipetas suficientes	100	5	6	7	SI
	Pipetear el reactivo Olsen al tubo de ensayo	Que haya reactivo suficiente	100	2	2,5	3	SI
	Agitar el tubo de ensayo en el agitador de muestra	Que esté disponible el agitador de muestra	100	1,5	2	3	SI
	Agitar en el ultrasonidos 5 min	Que esté disponible el agitador por ultrasonidos	25	6	7	8	NO

	Reposar la muestra 30 min		3	30	31	32	NO	
Medida	Preparar la recta de calibración del refractómetro con los patrones	Que el refractómetro esté disponible y estén los patrones de calibración.	100	6	8,7	10	NO	
	Medir las muestras en el refractómetro	Que el equipo no tenga ningún error durante el proceso	100	4	6	8	SI	
Reporte en SIL	Introducir valores obtenidos en SIL		100	12	15	19	SI	

Tabla A2-9: Distribución de tiempos Fósforo Olsen

Etapas agregadas	Etapa en la que ocurre el evento	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?	Categoria Evento	
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Localización de las muestras	0,5	Dispersion de las tarrinas en carro almacenaje y/o laboratorio	2	5	15	SI	Humano	Logístico
	Añadir 2,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión
Adición de Extractante	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	0,25	Falta extractante/valorante	15	20	25	NO	Humano	Gestión
Agitación	Colocar los botes en el agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Filtración Filtración	Agitar durante 30 min								
	Preparar filtros de papel, rotular vasos y colocarlos en	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico

	las gradillas con carbón activo								
Preparación de muestras para medir Preparación colorimétrica para medir concentración de P	Retirar botes del agitador y filtrar								
	Rotular tubos de ensayo para medir UV	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Pipetear el líquido totalmente incoloro al tubo de ensayo	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
Medida	Pipetear el reactivo Olsen al tubo de ensayo	0,05	Falta extractante/valorante	15	20	25	NO SI	Humano Humano	Gestión Gestión
	Agitar el tubo de ensayo en el agitador de muestra	0,25	Cola de recurso de laboratorio	2	3	5			
	Agitar en el ultrasonidos 5 min	0,1	Cola de recurso de laboratorio	5	8	10	SI	Humano	Gestión
	Reposar la muestra 30 min								
Medida	Preparar la recta de calibración del refractómetro con los patrones	0,125	Cola de recurso de laboratorio	5	12	15	SI	Humano	Gestión
	Medir las muestras en el refractómetro	0,1	Calibración del equipo de medida	6	8,7	10	NO	Técnico	Técnico
Reporte en SIL	Introducir valores								

	obtenidos en SIL								
--	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla A2-10: Eventos y probabilidades del parámetro P OLSEN

• Fósforo Bray

	Tiempo de operación en minutos por OT (Min/OT)										
	Preparación de la OT y rotulación botes	Localización de las muestras	Añadir 7,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	Colocar en el volteador y agitar durante 7 min	Preparar filtros de papel, rotular vasos y colocar en gradillas	Retirar del agitador y filtrar	Codificar Rack de entrega a ICP	Añadir el líquido filtrado a cada uno de los tubos de ensayo	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	Introducir valores proporcionados por Equipos y validación en SIL
Determinación P Bray-Kurtz Ph<7 (50 muestras por OT)	12	10	20	4	8	9	12	5	15	2	12

Figura A2-6: Toma de tiempos del parámetro P Bray

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	Que haya botes y tapones suficientes	100	10	12	15	SI
	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	8	10	12	SI
	Añadir 7,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Que esté la cuchara disponible en el cajón	100	15	20	24	SI
Adición de Extractante	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para el ensayo	100	3	4	5	SI
Agitación	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	3	5	6	SI
	Agitar durante 7 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	7	8	11	SI
Filtración	Preparar filtros de papel, rotular vasos y colocar en gradillas	Que haya papel, vasos, y gradillas disponibles	100	7	9	12	SI
	Retirar botes del agitador y filtrar	Depende del tipo de suelo	<10%	10	15	20	SI
Preparación de muestras para medir	Codificar Rack de entrega a ICP	Que haya tubos de ensayo suficientes	100	4	5	6	SI
	Añadir el líquido filtrado a cada uno de los tubos de ensayo		100	12	15	18	SI
	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	Que haya material para precintar	100	2	3	4	SI
Medida	Medida en ICP	Que no haya errores en la medida de los QC y	78	54	56	58	SI

		que la muestra analizada no exceda de la concentración						
Reporte en SIL	Introducir valores proporcionados por Equipos en SIL		100	10	12	15	SI	

Tabla A2-11: Distribución de tiempos de P Bray

Etapas agregadas	Etapa en la que ocurre el evento	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?	Categoria Evento	
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de botes	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Localización de las muestras	0,5	Dispersion de las tarrinas en carro almacenaje y/o laboratorio	10	15	20	SI	Humano	Logístico
	Añadir 7,5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión
Adición de Extractante	Añadir 50 ml de extractante y colocar el tapón	0,2	Falta extractante/valorante	15	20	25	NO	Humano	Gestión
Agitación	Colocar los botes en el agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Filtración	Agitar durante 7 min								
	Preparar filtros de papel, rotular vasos y colocar en gradillas	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
Preparación de muestras para medir	Retirar botes del agitador y filtrar								
	Codificar Rack de entrega a ICP	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Añadir el líquido filtrado a cada uno de los tubos de ensayo								

Medida	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos Medida en ICP	0,05	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
		0,05	Reponer QC/ Recalibrar el equipo	10	13	15			
Reporte en SIL	Introducir valores proporcionados por Equipos en SIL								

Tabla A2-12: Eventos y probabilidades del parámetro P BRAY

- Oligoelementos

	Tiempo de operación en minutos por OT (Min/OT)										
	Preparación de la OT y rotulación tubos centrifuga	Localización de las muestras	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Añadir 20 ml de extractante y colocar el tapón	Colocar en el volteador y agitar durante 120 min	Preparar y codificar Rack con tubos de ensayo	Retirar del agitador y colocar en la centrifuga	Centrifugar 10min	Filtrar el líquido sobrenadante en embudo con algodón	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	Introducir valores proporcionados por Equipos y validación en SIL
Determinación Oligos (50 muestras + muestra doble)	10	5	10	7.5	125.5	8	5	35	50	2	10
Determinación Oligos (50 muestras + muestra doble)	11	9	9.5	8	130.5	8	5	45	36	2.5	11

Figura A2-7: Toma de tiempos del parámetro Oligoelementos

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación tubos centrifuga	Que haya botes y tapones suficientes	100	9	10,5	13	SI
	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	8	10	12	SI
	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Que esté la cuchara disponible en el cajón	100	6,5	7,75	8,5	SI
Adición de Extractante	Añadir 20 ml de extractante y colocar el tapón	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para	100	7	7,75	8	SI

		el ensayo						
Agitación	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	3	5	6	SI	
	Agitar durante 120 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	120	122	135	SI	
Centrifugar	Retirar del agitador y colocar en la centrífuga	Que esté disponible la centrífuga	100	3	5	7	SI	
	Centrifugar 10min	Que el equipo no de fallo en balanceo y se centrifuguen por lotes de 16	50	44	47	49	SI	
Preparación de muestras para medir	Preparar y codificar Rack con tubos de ensayo	Que haya tubos de ensayo suficientes	100	4	5	6	SI	
	Filtrar el líquido sobredenante en embudo con algodón		100	40	43	45	SI	
	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	Que haya material para precintar	100	4	5	6	SI	
Medida	Medida en ICP	Que no haya errores en la medida de los QC y que la muestra analizada no exceda de la concentración	78	54	56	58	SI	
Reporte en SIL	Introducir valores proporcionados por Equipos y validación en SIL		100	10	12	15	SI	

Tabla A2-13: Distribución de tiempos en el parámetro Oligoelementos

Etapas agregadas	Etapa en la que ocurre el evento	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?	Categoria Evento	
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación tubos centrífuga	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Localización de las muestras	0,5	Dispersión de las tarrinas en carro almacenaje y/o	10	15	20	SI	Humano	Logístico

			laboratorio						
	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI	Humano	Gestión
Adición de Extractante	Añadir 20 ml de extractante y colocar el tapón	0,5	Falta extractante/valorante	15	20	25	NO	Humano	Gestión
Agitación	Colocar los botes en el agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Filtración Centrifugar	Agitar durante 120 min								
	Retirar del agitador y colocar en la centrífuga	0,375	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI	Humano	Gestión
Preparación de muestras para medir	Centrifugar 10min	0,8	Error en el equipo y volver a comenzar	2	3	5	NO	Técnico	Técnico
	Preparación de muestras para medir Preparación de muestras para medir	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO	Humano	Logístico
	Filtrar el líquido sobredenante en embudo con algodón								
Medida Medida	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos Medida en ICP	0,05	Reposición material consumible	1	2	5	NO No	Humano Técnico	Logístico Técnico
		0,05	Reponer QC/ Recalibrar el equipo	10	13	15			
Reporte en SIL	Introducir valores proporcionados por Equipos y validación en SIL								

Tabla A2-14: Eventos y probabilidades del parámetro P BRAY

- Boro

	Tiempo de operación en minutos por OT (Ma/OT)													
	Preparación de la OT y rotulación tubos centrifuga	Localización de las muestras	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	Colocar en el baño termostático y calentar 15 min	Colocar en el volteador y agitar durante 15 min	Retirar del agitador y colocar en la centrífuga	Centrifugar 5min	Preparar papeles de filtro, rotular vasos y colocar en las gradillas	retirar de la centrifuga y filtrar en los papeles de filtro	Preparar y codificar Rack con tubos de ensayo	Añadir el líquido en los tubos de ensayo	Presionar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	Introducir valores preprogramados por Equipos y validación en SIL
Determinación Boro en suelos (50 muestras + muestra doble + blanco referencia)	7	4	9	7	16	19.5	4	35	15	45	5	19.5	2	12

Figura A2-8: Toma de tiempos del parámetro Boro

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de tubos de centrifuga	Que haya botes y taponos suficientes	100	10	12	15	SI
	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	8	10	12	SI
	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	Que esté la cuchara disponible en el cajón	100	6,5	7,5	8,5	SI
Adición de Extractante	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	El bote de extractante está en su sitio y tiene cantidad suficiente para el ensayo	100	3	5	6	SI
Calentar Agitación	Colocar en el baño termostático y calentar 15 min	Que esté disponible el agitador por ultrasonidos	<5%	15	16	19	NO
	Colocar los botes en el agitador	Agitador con huecos libres suficientes	100	3	5	6	SI
Centrifugar	Agitar durante 15 min	Agitador con huecos libres suficientes	0	15	16	19	SI
	Retirar del agitador y colocar en la centrífuga	Que esté disponible la centrífuga	100	3	5	7	SI
Filtrar	Centrifugar 5min	Que el equipo no de fallo en balanceo y se centrifuguen por lotes de 16	50%	25	27	29	SI
	Preparar papeles de filtro, rotular vasos y colocar en las gradillas	Que haya papel, vasos, y gradillas disponibles	100	7	9	12	SI
	retirar de la centrífuga y filtrar en los papeles de filtro	Depende del tipo de suelo	<5%	40	45	50	SI

Preparación de muestras para medir	Preparar y codificar Rack con tubos de ensayo	Que haya tubos de ensayo suficientes	100	4	5	6	SI
	Añadir el líquido filtrado a cada uno de los tubos de ensayo		100	12	15	18	SI
	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	Que haya material para precintar	100	2	3	4	SI
Medida	Medida en ICP	Que no haya errores en la medida de los QC y que la muestra analizada no exceda de la concentración	78	54	56	58	SI
Reporte en SIL	Introducir valores proporcionados por Equipos y validación en SIL		100	10	12	15	SI

Tabla A2-15: Distribución de tiempos en el parámetro Boro

Etapas agregadas	Etapas	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT y rotulación de tubos de centrifuga	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO
	Localización de las muestras	0,5	Dispersión de las tarrinas en carro almacenaje y/o laboratorio	10	15	20	SI
	Añadir 5 cc de muestra con la cuchara volumétrica	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI
Adición de Extractante	Añadir 25 ml de extractante y colocar el tapón	0,625	Falta extractante/volante	15	20	25	NO
Calentar Agitación	Colocar en el baño termostático y calentar 15 min	0,1	Cola de recurso de laboratorio	4,5	5	6	SI

	Colocar los botes en el agitador	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI
Centrifugar	Agitar durante 15 min	0,25	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI
	Retirar del agitador y colocar en la centrífuga	0,375	Cola de recurso de laboratorio	5	15	30	SI
Filtrar	Centrifugar 5min	0,8	Error en el equipo y volver a comenzar	2	3	5	NO
	Preparar papeles de filtro, rotular vasos y colocar en las gradillas	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO
	retirar de la centrífuga y filtrar en los papeles de filtro						
Preparación de muestras para medir	Preparar y codificar Rack con tubos de ensayo	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO
	Añadir el líquido filtrado a cada uno de los tubos de ensayo						
	Precintar el Rack con Parafilm y entrega a Equipos	0,05	Reposición material consumible	1	2	5	NO
Medida	Medida en ICP	0,05	Reponer QC/ Recalibrar el equipo	10	13	15	No
Reporte en SIL	Introducir valores proporcionados por Equipos y validación en SIL						

Tabla A2-16: Eventos y sus probabilidades del parámetro Boro

- Nitrógeno

	Tiempo de operación en minutos por OT (Min/OT)									
	Preparación de la OT	Localización de las muestras	Limpieza de cazuelas para muestra	Pesar la muestra en la balanza	Llevar el muestreador con muestras a Equipos	Pesar los QC de Metionina y colocar en su lugar correspondiente del muestreador (cada 15 muestras 1 QC)	Selección de programa de ensayo y programación de la medida	Lanzar ensayo (5min/muestra)	Retirar muestreador y cazuelas del LECO	Descargar resultados y reportar en SIL
Determinación Nitrógeno Dumas (45 muestras + muestra doble)	6	15	5	20	2	15	13	240	1	20

Figura A2-9: Toma de tiempos del parámetro Nitrógeno

Etapas agregadas	Etapas	Condición Normal de ejecución de la etapa	Consumo recurso humano(%)	Tiempo normal de etapa (min)			¿T depende del número de muestras?
				4	6	8	
Preparación de muestras	Preparación de la OT		100	4	6	8	SI
	Localización de las muestras	Suelos ubicados previamente y en su lugar	100	12	15	18	SI
	Limpieza de cazuelas para muestra	Que haya cazuelas disponibles	100	4	5	6	SI
	Pesar la muestra en la balanza	Que la balanza esté disponible	100	18	20	23	SI
Preparación de muestras para medir	Llevar el muestreador con muestras a Equipos		100	1	2	3	NO
	Pesar los QC de Metionina y colocar en su lugar correspondiente del muestreador (cada 15 muestras 1 QC)	Que la balanza esté disponible	100	13	15	17	SI
Medida	Selección de programa de ensayo y programación de la medida		100	10	13	15	SI
	Lanzar ensayo (5min/muestra)	Que el equipo no tenga ningún error durante el proceso	5	235	240	245	SI
Finalización de la Medida en LECO Reporte en SIL	Retirar muestreador y cazuelas del LECO		100	1	1,5	2	NO
	Descargar resultados del ordenador del LECO		100	8	10	12	NO

	Reportar en SIL		100	8	10	12	SI
--	-----------------	--	-----	---	----	----	----

Tabla A2-17: Distribución de tiempos del parámetro Nitrógeno

Etapas agregadas	Etapas	Ocurrencia del evento	Evento	Tiempo optimista, normal y pesimista			¿T depende del número de muestras?
Preparación de muestras	Preparación de la OT						
	Localización de las muestras	0,5	Dispersión de las tarrinas en carro almacenaje y/o laboratorio	10	15	20	SI
	Limpieza de cazuelas para muestra	0,2	Reposición material consumible	1	2	5	NO
	Pesar la muestra en la balanza	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI
Preparación de muestras para medir	Llevar el muestreador con muestras a Equipos						
	Pesar los QC de Metionina y colocar en su lugar correspondiente del muestreador (cada 15 muestras 1 QC)	0,2	Cola de recurso de laboratorio	2	5	7	SI
Medida	Selección de programa de ensayo y programación de la medida						
	Lanzar ensayo (5min/muestra)	0,1	Calibración del equipo de medida	10	13	15	NO
Finalización de la Medida en LECO	Retirar muestreador y cazuelas del LECO						
	Descargar resultados del LECO						

	Reportar en SIL						
--	-----------------	--	--	--	--	--	--

Tabla A2-18: Eventos y sus probabilidades del parámetro Nitrógeno

Anexo III: Histogramas y Resumen de Estadísticas de los parámetros

Aparte de conocer el OEE de los equipos, el objetivo de simular el proceso es conocer su histograma y su resumen de estadísticas, que nos aporta información sobre los datos que más se repiten, es decir, los tiempos que suelen producirse a la hora de ejecutar el proceso y por lo tanto, nos permite identificar las etapas más duraderas que pueden hacer que este proceso se retrase. Estos son:

- Previsión del pH

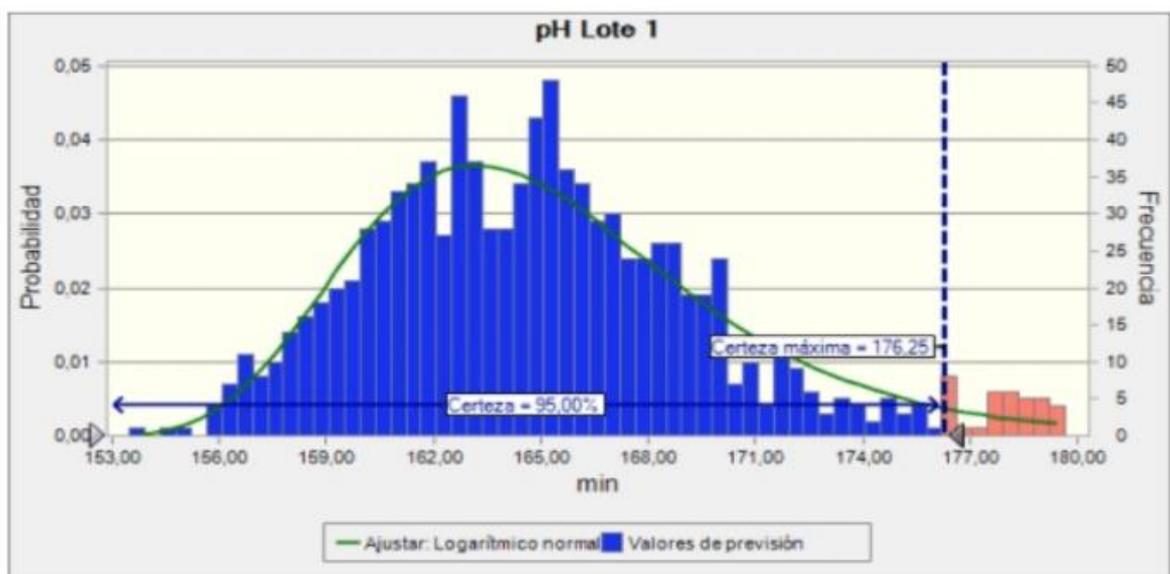


Figura A3-1: histograma del proceso del pH

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0,00
Media	165,18
Mediana	164,71
Modo	---
Desviación estándar	5,16
Varianza	26,58
Sesgo	0,8909
Curtosis	4,04
Coefficiente de variación	0,0312
Mínimo	153,53
Máximo	184,95
Ancho de rango	31,43
Error estándar medio	0,16

Figura A3-2: resumen estadístico del parámetro pH

- Previsión del proceso de Conductividad

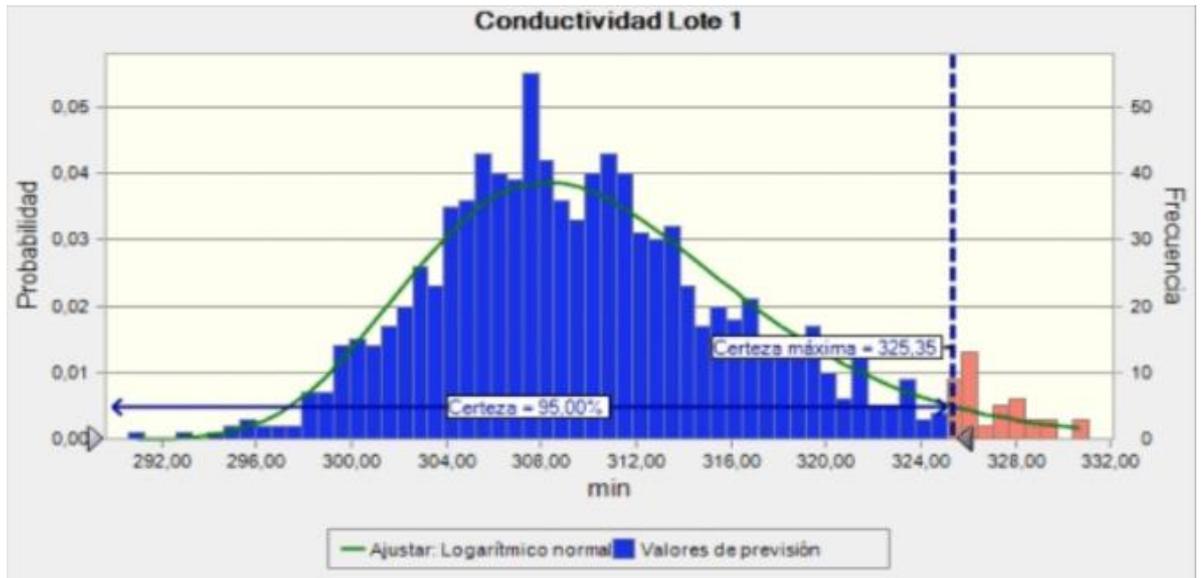


Figura A3-3: histograma del proceso de la Conductividad

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0,00
Media	310,56
Mediana	309,49
Modo	---
Desviación estándar	7,31
Varianza	53,48
Sesgo	0,7455
Curtosis	3,67
Coefficiente de variación	0,0235
Mínimo	290,64
Máximo	337,37
Ancho de rango	46,73
Error estándar medio	0,23

Figura A3-4: resumen de estadística del parámetro Conductividad

- Caliza Activa

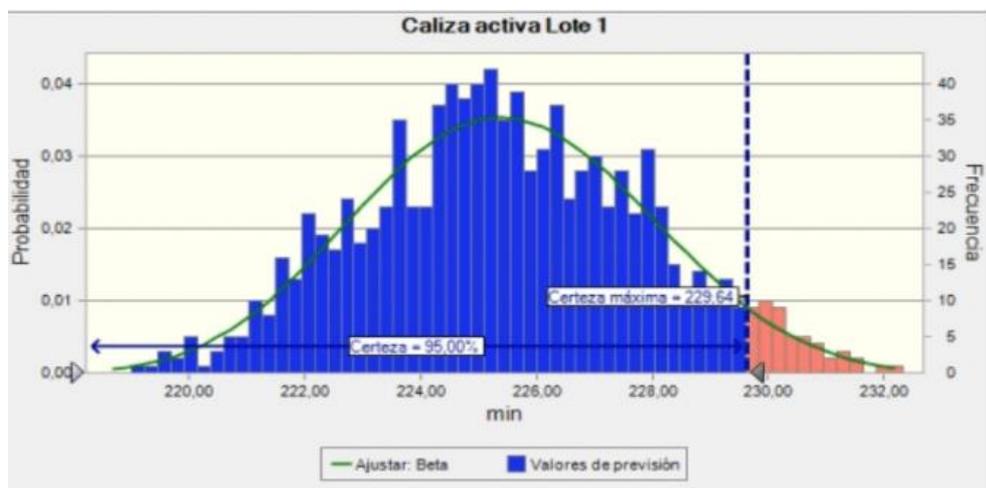


Figura A3-5: histograma del proceso de la Caliza Activa

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1.000
Caso base	0,00
Media	225,44
Mediana	225,35
Modo	---
Desviación estándar	2,45
Varianza	6,02
Sesgo	0,0444
Curtosis	2,75
Coefficiente de variación	0,0109
Mínimo	218,02
Máximo	232,38
Ancho de rango	14,35
Error estándar medio	0,08

Figura A3-6: resumen estadístico de la Caliza Activa

- Previsión de la textura

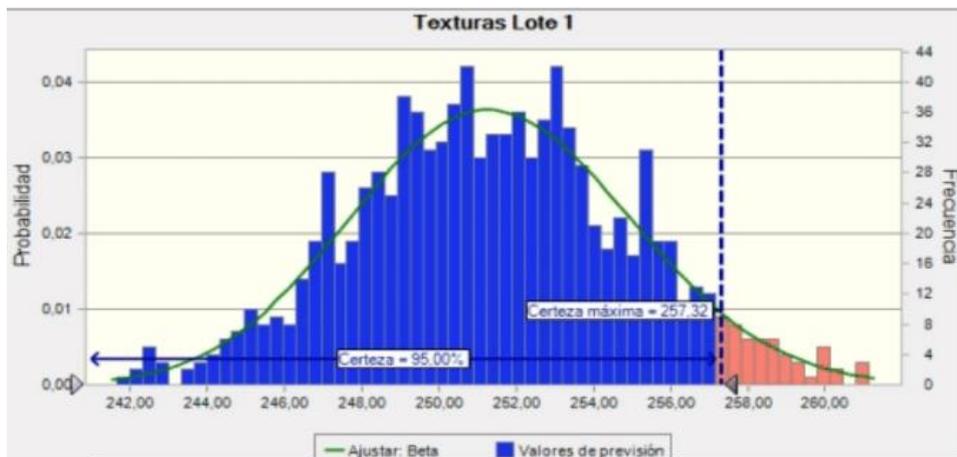


Figura A3-7: histograma del parámetro Textura

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1.000
Caso base	0,00
Media	251,39
Mediana	251,28
Modo	---
Desviación estándar	3,59
Varianza	12,90
Sesgo	0,0663
Curtosis	2,94
Coefficiente de variación	0,0143
Mínimo	239,72
Máximo	264,20
Ancho de rango	24,48
Error estándar medio	0,11

Figura A3-8: Resumen estadístico del parámetro Textura

- Previsión del Fósforo

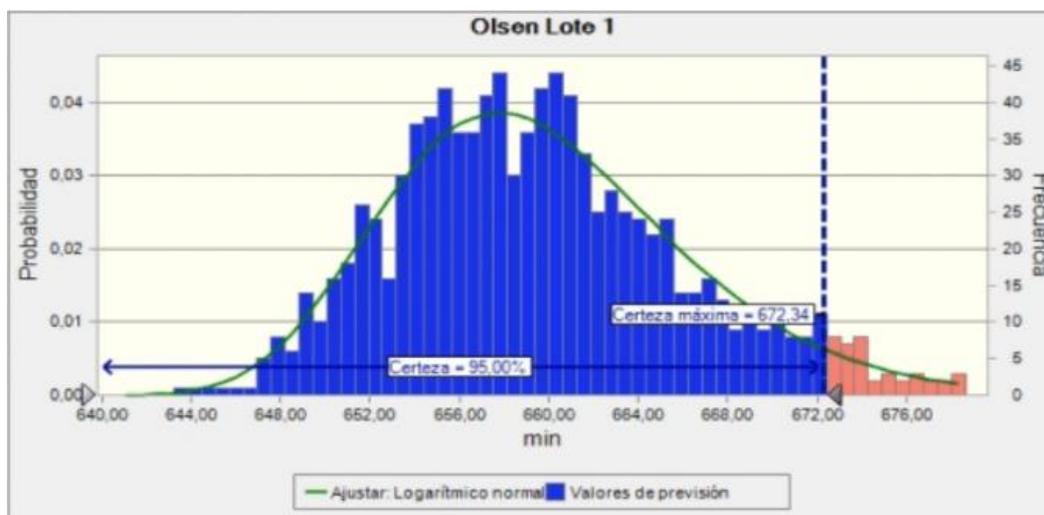


Figura A3-9: histograma del proceso del Fósforo

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1.000
Caso base	0,00
Media	659,70
Mediana	659,05
Modo	---
Desviación estándar	6,76
Varianza	45,76
Sesgo	0,6585
Curtosis	3,65
Coefficiente de variación	0,0103
Mínimo	640,05
Máximo	688,09
Ancho de rango	48,05
Error estándar medio	0,21

Figura A3-10: resumen estadístico del Fósforo

- Previsión de Oligoelementos

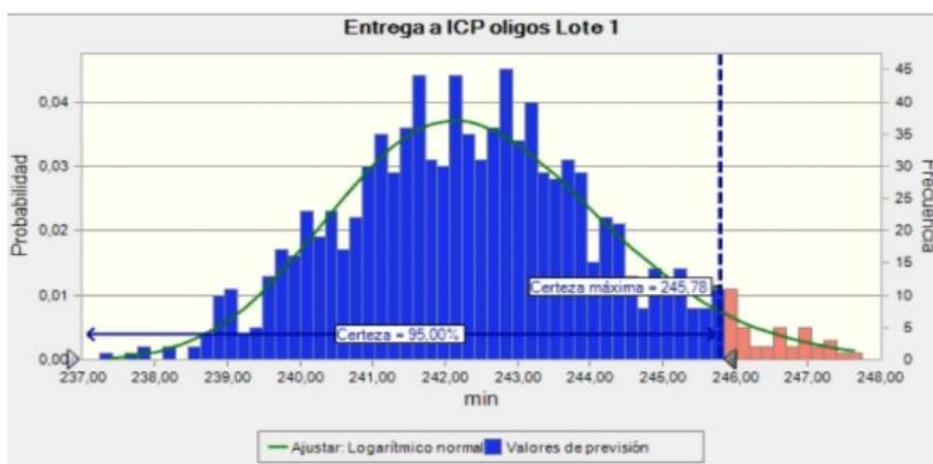


Figura A3-11: histograma del proceso de Oligoelementos

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0,00
Media	242,46
Mediana	242,37
Modo	---
Desviación estándar	1,88
Varianza	3,55
Sesgo	0,3575
Curtosis	3,21
Coefficiente de variación	0,0078
Mínimo	237,25
Máximo	249,26
Ancho de rango	12,02
Error estándar medio	0,06

Figura A3-12: resumen estadístico de Oligoelementos

- Boro

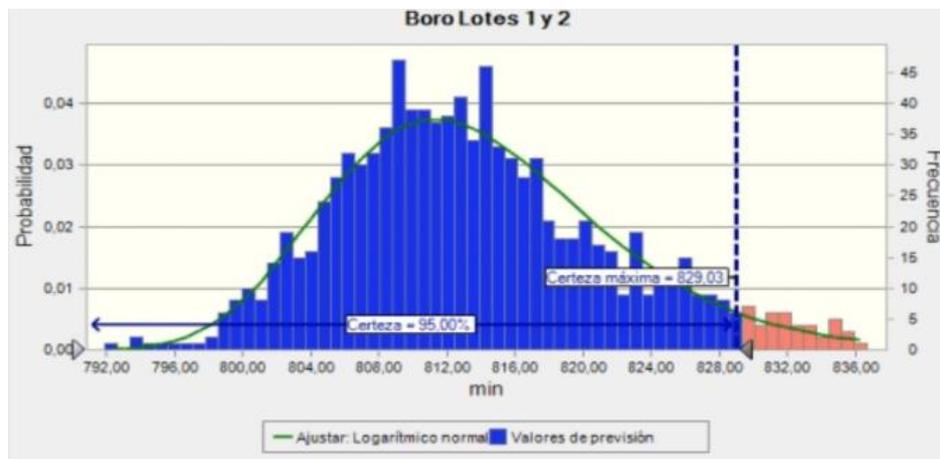


Figura A3-13: histograma del proceso del Boro

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0,00
Media	813,68
Mediana	812,80
Modo	---
Desviación estándar	8,20
Varianza	67,31
Sesgo	0,5955
Curtosis	3,36
Coefficiente de variación	0,0101
Mínimo	791,96
Máximo	848,53
Ancho de rango	56,57
Error estándar medio	0,26

Figura A3-14: resumen estadístico del Boro

- Nitrógeno

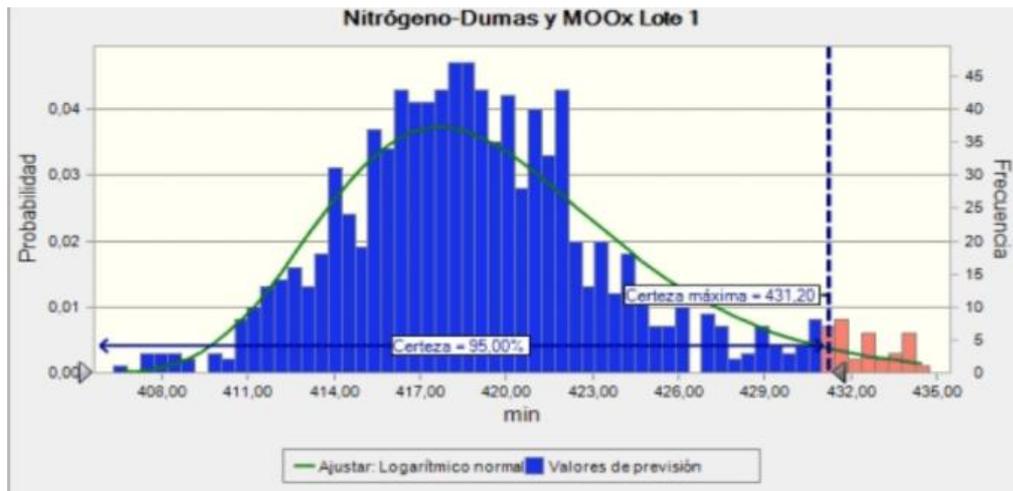


Figura A3-15: histograma del proceso del Nitrógeno

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	1,000
Caso base	0,00
Media	419,50
Mediana	418,72
Modo	---
Desviación estándar	5,43
Varianza	29,44
Sesgo	0,9264
Curtosis	4,19
Coefficiente de variación	0,0129
Mínimo	406,37
Máximo	438,35
Ancho de rango	31,99
Error estándar medio	0,17

Figura A3-16: resumen estadístico del Nitrógeno