

Universidad Técnica Federico Santa María

Departamento de Diseño y Manufactura

Memoria de Título para optar al título profesional de Ingeniero en
Proyectos de Ingeniería y al grado académico de Licenciado en
Ingeniería de Proyectos

Estudio Técnico económico para la implementación de un equipo,
Analizador de TOC (Carbono Orgánico Total) en la empresa CEA elab,
Santiago, Chile

Fecha de entrega: 21-01-2026

Profesor guía: Alvaro Céspedes Escobar

Comisión: Augusto Vargas Schuler

Eduardo Vidal Paez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo:

Estudio Técnico económico para la implementación de un equipo, Analizador de TOC (Carbono Orgánico Total) en la empresa CEA elab, Santiago, Chile.

Nombre del candidato(a):

Camila Fernanda Quiroz Cruzat

Carrera / Grado:

Ingeniería en proyectos de ingeniería, con licenciatura en ingeniería de proyectos

Campus: San Joaquín

Departamento: DIMA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Alvaro Céspedes Escobar, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses

☐ 12 meses

☐ 2 años

☐ 3 años

☐ 5 años

☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 19/01/2026

Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 19/01/2026

Firma: _____

Resumen.

KEYWORDS: Carbono Orgánico Total (TOC) - Analizador TOC - Laboratorio físico químico - CEA elab (Centro de Ecología Aplicada) – Eficiencia operativa – Estudio técnico económico.

El presente trabajo de título tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar un analizador de Carbono Orgánico Total (TOC) en el laboratorio físico-químico de CEA elab (Centro de Ecología Aplicada), ubicado en Santiago de Chile. Actualmente, la empresa depende de laboratorios externos para la determinación de TOC, lo que provoca retrasos de 3 a 5 días en la entrega de resultados, aumento de costos operativos y menor control sobre la calidad y trazabilidad de los datos.

La propuesta se enfoca en diseñar una solución técnico-económica que permita internalizar el análisis TOC, optimizando los tiempos de respuesta, reduciendo costos y fortaleciendo la competitividad de CEA elab. frente a crecientes exigencias regulatorias y demandas del mercado ambiental. Se utilizaron herramientas de diagnóstico como análisis FODA y diagrama de Ishikawa, además de una revisión del marco normativo vigente y un estudio preliminar de alternativas tecnológicas.

Los resultados iniciales indican que la adquisición de un analizador Shimadzu TOC-LCPH, con un costo aproximado de UF 1373.13, se permitiría reducir los costos de subcontratación hasta en un 30 %, se disminuirían los plazos de entrega de resultados en un 60 %. La evaluación económica del proyecto sin financiamiento arrojó indicadores financieros favorables teniendo un Valor Actual Neto (VAN) de UF 1499.74, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 28%, y un Período de Recuperación (Payback) de 4 años, considerando un horizonte de evaluación de 5 años y una tasa de descuento del 11.5%

Índice

1 Diagnóstico y planteamiento del problema	8
1.1 Contextualización del problema	8
1.1.1 Descripción del entorno organizacional	8
1.1.2 Función estratégica del laboratorio fisicoquímico.....	9
1.1.3 Problemática de la externalización del análisis TOC.....	9
1.1.4 Argumentación técnica para la intervención.....	10
1.1.5 Antecedentes técnicos y estudios relacionados	11
1.1.6 Motivación e interés formativo	12
1.1.7 Análisis DAFO y Diagrama de Ishikawa	12
1.1.8 Justificación del valor técnico y estratégico.....	16
1.1.9 Conclusión del diagnóstico	17
1.2 Identificación del problema.....	17
1.2.1 Definición técnica del problema	17
1.3 Objetivos del proyecto.....	18
1.3.1 Objetivos específicos:	18
1.3.2 Alcances y limitaciones del proyecto.....	18
1.4 Metodología de evaluación técnica- económica	19
1.5 Marco técnico y normativo	19
2 Estudio técnico.....	21
2.1 Contextualización del laboratorio y justificación técnica	21
2.2 Estudio ambiental.....	21
2.3 Procedimiento analítico para la determinación de TOC.	23
2.4 Presupuesto asociado y especificaciones técnicas del equipo seleccionado.	24
2.5 Proceso logístico de equipo TOC.	25
2.6 Plan de validación y calibración	25
2.6.1 Requisitos de instalación.	26
2.7 Justificación operativa técnica.	27
2.7.1 Principios de funcionamiento:	27
2.7.2 Beneficios operativos:.....	28

2.7.3	Compatibilidad de infraestructura existente:	28
2.8	Determinación de insumos, productos y subproductos.	28
2.8.1	Presupuesto de Instalación.....	28
2.8.2	Presupuesto de mantención a equipo	29
2.8.3	Programa de trabajo; turno y gasto en personal	30
2.8.4	Gastos energéticos.	31
2.8.5	Insumos para análisis.	32
2.9	Producción de subcontratación.	33
2.10	Personal de operaciones, cargos y perfiles.	34
2.10.1	Personal de laboratorio.	34
2.10.2	Cargos y perfiles.	34
2.11	Estructura organizacional.	36
2.12	Síntesis.	36
3	Evaluación económica y financiera.	38
3.1	Consideraciones.	38
3.1.1	Horizonte del proyecto.	38
3.1.2	Tasa de descuento.	38
3.1.3	Moneda a utilizar	39
3.1.4	Impuesto.....	40
3.1.5	Depreciaciones.	40
3.1.6	Capital de trabajo.	40
3.2	Flujos de caja.	41
3.2.1	Proyecto puro.	41
3.2.2	Proyecto con financiamiento.	43
3.3	Análisis de Sensibilidad	46
3.3.1	Sensibilidad del VAN	46

Índice de Figuras

Figura 1.	Análisis FODA para CEA elab en el parámetro de TOC	14
-----------	--	----

Figura 2. Diagrama de Ishikawa - Causas de la dependencia externa para equipo TOC.	16
Figura 3. Alcances y Limitaciones para implementación de equipo TOC.	19
Figura 4. Diagrama BPMN, operacional.	23
Figura 5. Proceso de Implementación.	25
Figura 6. Producción anual, año 2023.	33
Figura 7. Producción anual, año 2024.	33
Figura 8. Estructura Organizacional de CEA elab.	36
Figura 9. Sensibilidad al Precio	47
Figura 10. Sensibilidad a Ventas	47
Figura 11. Matriz de Sensibilidad	48

Índice de Tablas

Tabla 1. Análisis comparativo de analizadores TOC	10
Tabla 2. Presupuesto de inversión.	24
Tabla 3. Especificaciones técnicas de modelo Shimadzu TOC	24
Tabla 4. Requisitos eléctricos de instalación del analizador TOC.	26
Tabla 5. Requisitos ambientales de instalación del analizador TOC.	26
Tabla 6. Requisitos de gases y ventilación del analizador TOC.	26
Tabla 7. Requisitos de agua para instalación de analizador TOC.	27
Tabla 8. Presupuesto de instalación.	29
Tabla 9. Presupuesto de mantención.	30
Tabla 10. Horario del personal de laboratorio.	30
Tabla 11. Salario Operacional.	31
Tabla 12. Gasto energético anual.....	31
Tabla 13. Costos insumos del proyecto.	32
Tabla 14. Cargos y perfiles.....	34
Tabla 15. Depreciación de activo.	40
Tabla 16. Flujo de caja puro.	42
Tabla 17. Indicadores económicos flujo puro.	43
Tabla 18. Flujo de caja 50% de financiamiento.	44
Tabla 19. Flujo de caja 75% de financiamiento.	45
Tabla 20. Indicadores económicos de flujo 0%, 50% y 75% de financiamiento.	46
Capítulo I	

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1 Diagnóstico y planteamiento del problema

1.1 Contextualización del problema.

El Centro de Ecología Aplicada (CEA elab) es una empresa chilena especializada en la prestación de servicios de análisis ambientales para sectores industriales y organismos reguladores. Cuenta con acreditación ISO/IEC 17025:2017 para ensayos de laboratorio, certificación ISO/IEC 17020:2012 para organismos de inspección y autorización como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA 017-01) por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Estas acreditaciones consolidan su reputación técnica y su capacidad para entregar resultados confiables y trazables. El laboratorio fisicoquímico constituye uno de los pilares de la operación de CEA elab, apoyando actividades de control ambiental en aguas superficiales, aguas residuales, matrices marinas y efluentes industriales. Sin embargo, uno de los parámetros de mayor demanda y complejidad técnica, el Carbono Orgánico Total (TOC), se encuentra actualmente externalizado. Esta situación genera dependencia de terceros, limitando la autonomía operativa y afecta la capacidad de respuesta frente a clientes y organismos fiscalizadores. (Superintendencia del Medio Ambiente, 2023)

Al no contar con un analizador TOC interno, CEA elab experimenta demoras y mayores costos, lo que impacta en la eficiencia operativa y competitividad frente a laboratorios que ya han internalizado este tipo de análisis.

1.1.1 Descripción del entorno organizacional.

El laboratorio fisicoquímico en CEA elab provee datos clave para:

- Cumplimiento normativo: Soporta la entrega de informes exigidos por la SMA y otros organismos reguladores.
- Toma de decisiones internas y externas: Permite a clientes industriales actuar rápidamente ante desviaciones en parámetros críticos.
- Aseguramiento de calidad: Sustenta procesos de certificación y auditorías bajo normas internacionales.

Disponer de equipos propios para TOC es un factor clave para mantener la competitividad y garantizar resultados oportunos, sobre todo en contratos donde los tiempos de entrega son un diferenciador comercial.

1.1.2 Función estratégica del laboratorio fisicoquímico.

La CEA elab envía las muestras que requieren determinación de TOC a laboratorios externos acreditados. Según el Instituto Nacional de Normalización (INN, 2022), la acreditación ISO/IEC 17025:2017 permite asegurar la competencia técnica de los laboratorios y mejora su posicionamiento competitivo. La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA, 2023) ha incrementado las exigencias de monitoreo ambiental en Chile, impulsando la demanda por análisis de parámetros críticos como el TOC.

- Retrasos de entre 3 y 5 días en los plazos de entrega de informes.
- Incremento de costos por pago de servicios externos y transporte de muestras.
- Menor control sobre la trazabilidad y calidad final de los datos reportados. Esta dependencia externa genera brechas de eficiencia y afecta la percepción de calidad y capacidad técnica frente a clientes que buscan soluciones rápidas y confiables, especialmente en un contexto donde las exigencias regulatorias y operativas se intensifican. (American Water Works Association, 2020)

1.1.3 Problemática de la externalización del análisis TOC.

La empresa CEA elab. enfrenta una limitación operativa actualmente, que es la ausencia de equipamiento propio para la determinación de Carbono Orgánico Total (TOC), parámetro de alta relevancia en el monitoreo ambiental de aguas. Obligando a la organización a externalizar los análisis, generando una dependencia que compromete la eficiencia operativa y la competitividad comercial. (Superintendencia del Medio Ambiente, 2023)

La dependencia de laboratorios externos genera costos adicionales estimados entre USD 12.000 y 18.000 anuales, considerando transporte, subcontratación y tiempos improductivos. Esta situación limita la competitividad de CEA elab. frente a laboratorios que ya han internalizado el análisis TOC y que entregan resultados con hasta 60 % menos tiempo de respuesta.

1.1.4 Argumentación técnica para la intervención.

La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) ha intensificado el control de descargas industriales y calidad de aguas, generando un aumento sostenido en la demanda de análisis TOC. De acuerdo con datos del INN (2022), los laboratorios que han internalizado equipos especializados han logrado reducciones de costos superiores al 30 % y mejoras en tiempos de entrega cercanas al 50 %.

En el mercado chileno existen varias marcas de analizadores TOC:

Tabla 1. Análisis comparativo de analizadores TOC

Criterio	<u>Shimadzu TOC-LCPH</u>	<u>Hach QbD1200</u>	<u>Analytik Jena multi-N/C 2100S</u>
<i>Ilustración</i>			
<i>Precisión analítica</i>	Alta (hasta 4 µg/L), ideal para matrices complejas	Buena para matrices estándar	Alta, con detección sensible en matrices diversas
<i>Automatización</i>	Alta: inyección automática, control de reactivos	Media: operación simplificada	Alta: autosampler, control de flujo y temperatura
<i>Consumo de reactivos</i>	Bajo: optimización química integrada	Moderado	Bajo a moderado según configuración
<i>Facilidad de uso</i>	Interfaz técnica, requiere capacitación	Muy amigable, ideal para operadores no especializados	Técnica, requiere entrenamiento
<i>Soporte técnico en Chile</i>	Consolidado, con presencia local y repuestos disponibles	Estable, con distribuidores activos	Variable, depende del proveedor
<i>Rango de (UF)</i>	700 – 1000	600 – 800	800 – 900

<i>Ventajas clave</i>	Fiabilidad, trazabilidad, cumplimiento normativo	Compacto, económico, buena relación costobeneficio	Alta robustez, ideal para laboratorios con alta carga
<i>Limitaciones</i>	Requiere mayor inversión inicial	Menor precisión en matrices complejas	Soporte técnico menos consolidado en Chile

Fuente: Elaboración propia.

La elección del modelo depende de requerimientos de precisión, tipo de matriz analizada y presupuesto disponible. El modelo Shimadzu TOC-LCPH destaca por su fiabilidad y disponibilidad de soporte técnico en Chile.

1.1.5 Antecedentes técnicos y estudios relacionados

La literatura técnica nacional e internacional respalda la importancia estratégica de contar con capacidades analíticas internas para parámetros críticos como el TOC. Estudios realizados por la American Water Works Association (American Water Works Association, 2020) demuestran que los laboratorios que internalizan análisis de parámetros de alta demanda logran reducir sus tiempos de respuesta en un 40-60% y optimizar sus costos operativos en un 25-35%.

En el contexto chileno, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) ha intensificado los requerimientos de monitoreo ambiental, incrementando la demanda por análisis de TOC en un 35% durante los últimos tres años (SMA, 2023). Esta tendencia proyecta un crecimiento sostenido en la demanda de servicios analíticos ambientales, especialmente en parámetros como el TOC que constituyen indicadores clave de la calidad ambiental.

Investigaciones desarrolladas por el Instituto Nacional de Normalización (INN, 2022) en colaboración con laboratorios acreditados chilenos evidencian que la disponibilidad de equipamiento analítico interno mejora significativamente los indicadores de desempeño de los laboratorios, incluyendo tiempo de respuesta, satisfacción del cliente y rentabilidad operativa.

1.1.6 Motivación e interés formativo.

El presente proyecto surge del interés personal por contribuir al fortalecimiento de las capacidades técnicas de CEA elab, organización que representa un referente en el sector ambiental nacional. La implementación de un analizador TOC constituye una oportunidad para aplicar conocimientos de ingeniería en proyectos a una problemática real del sector productivo, integrando aspectos técnicos, económicos y estratégicos en una propuesta de mejora integral.

Desde la perspectiva formativa este proyecto permite desarrollar competencias en evaluación técnico-económica de equipamiento analítico, análisis de procesos de laboratorio, gestión de la calidad en laboratorios acreditados y formulación de propuestas de inversión en el sector ambiental. La complejidad técnica del proyecto y su relevancia estratégica para CEA elab constituyen elementos que enriquecen significativamente el proceso de formación profesional.

1.1.7 Análisis DAFO y Diagrama de Ishikawa.

Para comprender de manera integral la situación actual de CEA elab. y definir con mayor precisión los factores que condicionan la implementación de un analizador TOC, se aplicaron dos herramientas de diagnóstico estratégico: el Análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) clasifica los factores en internos (fortalezas y debilidades, controlables por CEA elab) y externos (oportunidades y amenazas, del entorno de mercado y regulatorio) y el Diagrama de Ishikawa. Estas metodologías permiten identificar los factores internos y externos que influyen en la capacidad del laboratorio para mejorar su eficiencia operativa, así como las causas raíz que explican la dependencia de servicios externos para la determinación de Carbono Orgánico Total.

Fortalezas.

- Acreditación ISO/IEC 17025:2017 e ISO/IEC 17020:2012.
- Personal altamente capacitado y con experiencia en análisis complejos.
- Reconocimiento como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA 017-01).
- Amplia cartera de clientes en sectores industriales y gubernamentales.

Oportunidades.

- Creciente regulación ambiental que exige análisis TOC.
- Posibilidad de ampliar cartera de servicios externos.
- Disponibilidad de tecnología moderna con soporte en Chile.
- Mayor valorización de la eficiencia y tiempos de respuesta en licitaciones públicas y privadas.

Debilidades.

- Dependencia actual de laboratorios externos para TOC.
- Aumento de costos operativos por subcontratación.
- Falta de equipamiento crítico que limita autonomía. ○ Capacidad limitada para responder ante urgencias.

Amenazas.

- Competencia con laboratorios ya equipados con TOC interno.
- Cambios normativos que pueden exigir aún más rapidez.
- Fluctuación de costos de importación y mantenimiento de equipos.
- Presión de precios en el mercado de análisis ambientales.

La matriz DAFO tiene una escala de valoración donde cada factor se califica en una escala de:

- 1 = impacto bajo
- 2 = impacto moderado
- 3 = impacto alto
- 4 = impacto crítico o estratégico

Debilidades

Amenazas

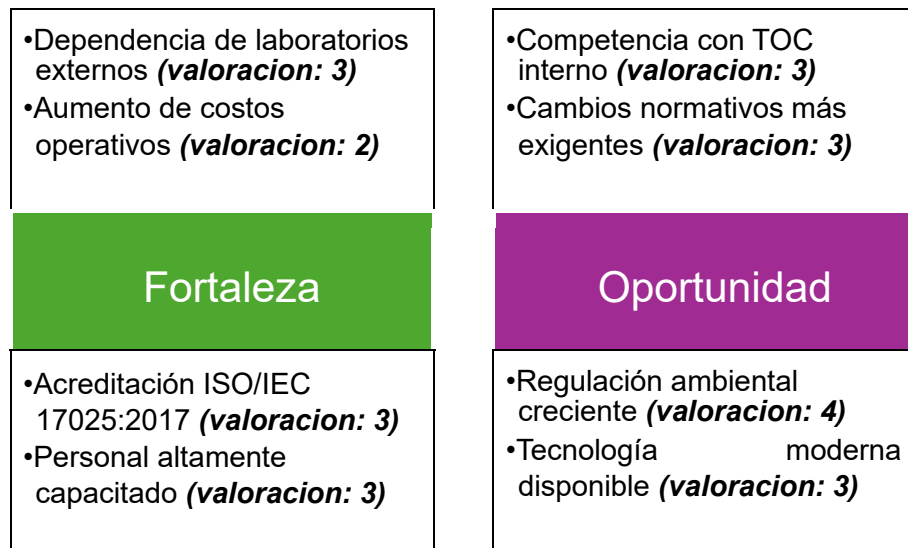


Figura 1. Análisis FODA para CEA elab en el parámetro de TOC

Fuente: Elaboración propia

Con mayor puntaje la oportunidad (7). Regulación ambiental creciente es el factor más estratégico dado que justifica la inversión en TOC para cumplir normativas y captar mercado. La Fortaleza (6) es clave en la Acreditación ISO/IEC 17025:2017 permitiendo aprovechar la oportunidad regulatoria con credibilidad técnica. La Debilidad es crítica(6) enfocada en la dependencia de laboratorios externos ya que limita competitividad y eficiencia, urge corregirla. La Amenaza (5) es relevante en la competencia con TOC interno. Refuerza la necesidad de equipamiento propio para no perder clientes.

A partir del análisis FODA se identifican diversas combinaciones que orientan la estrategia para la internalización del análisis de Carbono Orgánico Total (TOC):

- **Estrategias FO (Fortalezas–Oportunidades):** CEA elab. puede aprovechar su acreditación ISO/IEC 17025:2017 y su reconocimiento como ETFA para captar clientes que enfrentan regulaciones ambientales cada vez más estrictas. La reputación técnica consolidada puede respaldar la inversión en un analizador TOC y facilitar la expansión de la cartera de servicios en un mercado con creciente demanda.

- **Estrategias DO (Debilidades–Oportunidades):** La principal debilidad dependencia de laboratorios externos- puede superarse utilizando la oportunidad de acceso a tecnologías modernas con soporte en Chile y el incremento de la demanda de análisis TOC. La adopción de un equipo propio permitiría reducir costos de subcontratación y responder con mayor rapidez, mejorando la propuesta de valor.
- **Estrategias FA (Fortalezas–Amenazas):** Las certificaciones y la experiencia técnica permiten a CEA elab. enfrentar la competencia de laboratorios que ya poseen equipos internos, destacando su capacidad de ofrecer resultados acreditados y trazables. Además, una sólida reputación técnica facilita adaptarse a futuros cambios normativos.
- **Estrategias DA (Debilidades–Amenazas):** Para contrarrestar la falta de equipamiento crítico y los riesgos de costos de importación, se recomienda planificar la adquisición con análisis financiero previo, buscar proveedores con servicio local y capacitar al personal para evitar dependencia futura. De esta forma se minimiza el impacto de fluctuaciones de precios y se asegura cumplimiento ante normativas más exigentes.

En conjunto, estas estrategias confirman que la adquisición de un analizador TOC no solo corrige una debilidad crítica, sino que convierte fortalezas existentes en ventajas competitivas frente a un entorno regulatorio y de mercado cada vez más exigente

Diagrama de Ishikawa – Causas de la dependencia externa para TOC

El análisis causa-raíz identificó los factores que provocan la dependencia externa para el análisis de Carbono Orgánico Total (TOC) en la empresa CEA elab. Este diagrama permite visualizar las principales categorías de causas y cómo estas afectan la eficiencia operativa y la autonomía técnica del laboratorio:

- Equipamiento: Ausencia de un analizador TOC propio y alto costo de inversión inicial.
- Métodos y procesos: Logística de transporte de muestras y falta de estandarización interna.
- Personal: Capacitación limitada para operar y mantener equipos TOC.

- Materiales e insumos: Disponibilidad restringida de consumibles y reactivos.
- Normativa: Exigencias crecientes de SMA y acreditación ISO 17025.
- Finanzas: Restricciones presupuestarias históricas para la compra de equipamiento crítico.

Diagrama de Ishikawa - Causas de la dependencia externa para TOC

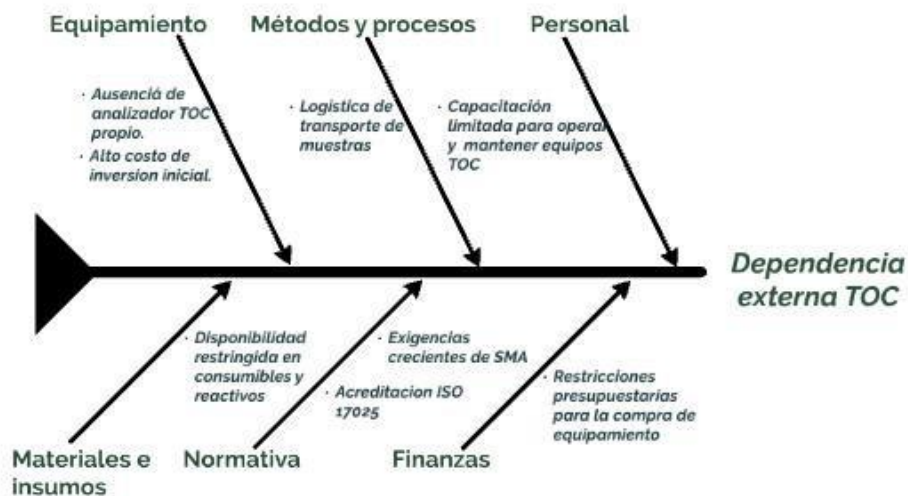


Figura 2. Diagrama de Ishikawa - Causas de la dependencia externa para equipo TOC.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis causa-raíz evidencia que la principal barrera para internalizar el análisis TOC es la limitación financiera histórica, que ha impedido adquirir un equipo propio y capacitar al personal. A esto se suman procesos poco estandarizados y la dependencia de proveedores externos para transporte y consumibles. Estas causas se relacionan directamente con la propuesta de este proyecto: invertir en un analizador TOC propio, acompañado de un plan de capacitación técnica y de estandarización de procedimientos, permitirá eliminar la dependencia externa, mejorar los tiempos de respuesta y fortalecer la trazabilidad de los resultados bajo los estándares de la ISO/IEC 17025:2017.

1.1.8 Justificación del valor técnico y estratégico.

La implementación de un analizador TOC en CEA elab. representa una oportunidad estratégica para fortalecer las capacidades analíticas internas, optimizar la eficiencia

operativa y consolidar el posicionamiento competitivo en el mercado ambiental. El proyecto se alinea con los objetivos estratégicos de la organización al contribuir a la excelencia técnica, la satisfacción del cliente y la rentabilidad operativa.

La propuesta presenta un alto valor técnico al integrar aspectos de ingeniería analítica, gestión de la calidad, evaluación económica y planificación estratégica en una solución integral que responde a una necesidad real del sector productivo. Su desarrollo permitirá generar conocimiento aplicado sobre implementación de equipamiento analítico en laboratorios acreditados, contribuyendo al fortalecimiento del sector ambiental nacional.

1.1.9 Conclusión del diagnóstico.

El diagnóstico integral permitió identificar que la dependencia externa del análisis TOC representa una debilidad estructural que afecta la autonomía y eficiencia operativa de CEA elab. La propuesta de implementación de un analizador propio surge como una solución técnica viable y alineada con los objetivos de sostenibilidad, fortaleciendo la posición competitiva del laboratorio en el mercado ambiental nacional.

1.2 Identificación del problema.

1.2.1 Definición técnica del problema.

El problema central identificado en CEA elab. corresponde a la ausencia de capacidades analíticas internas para la determinación de Carbono Orgánico Total (TOC), lo que obliga a la organización a externalizar este análisis crítico a laboratorios terceros. Esta situación genera una dependencia operativa externa que compromete la eficiencia del servicio, incrementa los costos operativos, extiende los tiempos de respuesta y limita el control de calidad sobre un parámetro fundamental en el análisis ambiental.

La externalización del análisis TOC representa una discontinuidad en la cadena de valor analítica de CEA elab, interrumpiendo la integralidad del servicio y generando vulnerabilidades operativas que impactan negativamente en la competitividad comercial y la satisfacción del cliente. Esta problemática adquiere mayor relevancia

considerando el crecimiento sostenido de la demanda por análisis ambientales y el papel estratégico que desempeña CEA elab como Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental.

1.3 Objetivos del proyecto

Objetivo general: Diseñar una propuesta técnico-económica para la implementación de un analizador TOC en CEA elab. que mejore operaciones y la competitividad del laboratorio ambiental.

1.3.1 Objetivos específicos:

1. Diagnosticar el proceso actual de determinación de TOC y sus impactos en tiempos y costos.
2. Analizar alternativas tecnológicas disponibles para la medición interna de TOC.
3. Estimar costos de adquisición, operación y ahorros potenciales al internalizar el análisis.
4. Proponer un plan de implementación gradual con capacitación técnica y gestión de calidad.
5. Alinear la propuesta con el marco normativo y de acreditación vigente.

1.3.2 Alcances y limitaciones del proyecto.

Alcances	Limitaciones
• Diagnóstico del proceso actual y análisis de factibilidad técnico-económica para implementar un equipo TOC. • Evaluación comparativa de tecnologías y marcas disponibles. • Propuesta alineada con normas ISO 17025 y regulaciones ambientales vigentes.	• No se contempla la compra ni la instalación física del equipo durante este estudio. • Acceso limitado a datos financieros internos detallados. • Proyecciones económicas basadas en precios referenciales de mercado (2025).

Figura 3. Alcances y Limitaciones para implementación de equipo TOC.

Fuente: Elaboración propia.

1.4 Metodología de evaluación técnica- económica.

La presente investigación se desarrolló mediante una metodología de evaluación técnico-económica que se conforma de varias herramientas de diagnóstico y análisis estratégico. En primera instancia, se implementan herramientas de diagnóstico clave para identificar las variables críticas del sistema actual del laboratorio CEA elab. Posteriormente, se aplicó un análisis FODA que permite evaluar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del contexto operativo y del mercado, acompañado del análisis DAFO correspondiente. Para profundizar en las causas raíz de las problemáticas identificadas, se utiliza el Diagrama de Ishikawa, facilitando la comprensión de los factores que afectan la eficiencia y calidad de los procesos. Adicionalmente, se realiza una revisión exhaustiva del marco normativo vigente aplicable a laboratorios de análisis químico, asegurando el cumplimiento de estándares nacionales e internacionales. Finalmente, se desarrolla un estudio de alternativas tecnológicas que compara diferentes opciones de equipamiento y metodologías analíticas, evaluando su viabilidad técnica, económica y operativa. Esta metodología integral permite generar conclusiones fundamentadas y recomendaciones estratégicas para la optimización del laboratorio CEA elab.

1.5 Marco técnico y normativo

El proyecto se fundamenta en las normas ISO/IEC 17025:2017 (competencia de laboratorios de ensayo y calibración) y ISO/IEC 17020:2012 (requisitos para organismos de inspección), que establecen estándares para asegurar la calidad y trazabilidad de resultados analíticos. Se considera además la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, las regulaciones de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y la normativa sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) para la correcta gestión de equipos y consumibles al final de su vida útil (ISO, 2017; IAS, 2018; Ley N° 19.300, 1994; SMA, 2023).

Desde el punto de vista analítico, la determinación de Carbono Orgánico Total (TOC) se realiza comúnmente mediante el principio de combustión catalítica de alta temperatura (680–720 °C) seguido de detección por infrarrojo no dispersivo (NDIR), que cuantifica el dióxido de carbono generado tras la oxidación completa de

compuestos orgánicos presentes en el agua. Este método se considera confiable para laboratorios acreditados debido a su alta precisión y amplio rango de detección (Shimadzu Corporation, 2023).

En el plano normativo específico, además de las ISO mencionadas, resulta relevante la ISO 8245:1999, que define términos y principios relacionados con el contenido de carbono orgánico en agua, así como las guías técnicas de la Environmental Protection Agency (EPA, 2021) sobre la medición de carbono orgánico total en aguas superficiales y residuales. Estas referencias aseguran trazabilidad, comparabilidad y cumplimiento de estándares internacionales en la generación de datos analíticos. A nivel de selección tecnológica, se revisan guías y criterios técnicos que incluyen precisión, rango de detección, automatización, costos de operación y soporte postventa local.

Entre las alternativas evaluadas destacan: Shimadzu TOC-LCPH, Hach QbD1200 y Analytik Jena multi N/C 2100S. La primera se recomienda para CEA elab por su alta confiabilidad, facilidad de calibración bajo ISO 17025, bajo consumo de reactivos y disponibilidad de servicio técnico en Chile. Finalmente, la normativa sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) adquiere especial relevancia para la disposición final del equipo y de consumibles como columnas de combustión, lámparas UV y reactivos, asegurando una gestión ambientalmente responsable y alineada a la legislación chilena.

Capítulo II

ESTUDIO TÉCNICO

2 Estudio técnico

2.1 Contextualización del laboratorio y justificación técnica.

El laboratorio CEA elab. ubicado en Santiago de Chile, desarrolla actividades de análisis de medios ambientales. Fortalecer su capacidad analítica y reducir dependencia de laboratorios externos, se plantea la implementación de un analizador de Carbono Orgánico Total (TOC). Este dispositivo electrónico permitirá cuantificar el contenido de carbono orgánico en las muestras de manera automatizada, precisa y trazable, cumpliendo los estándares establecidos por la norma ISO/IEC.

2.2 Estudio ambiental.

El impacto ambiental asociado a la implementación del analizador TOC es mínimo y controlable. El equipo utiliza volúmenes reducidos de reactivos (ácido fosfórico y persulfato de sodio) y genera cantidades insignificantes de residuos líquidos, los cuales se gestionan conforme a los procedimientos de manejo establecidos por el laboratorio bajo la ISO 14001.

En términos de sostenibilidad la incorporación del dispositivo contribuye a:

- Reducir el consumo de papel mediante el registro digital automatizado en un 100% ya que la transferencia de datos es del software del equipo al sistema LIMS
- Minimizar la huella de carbono indirecta, al eliminar envíos de muestras a laboratorios externos.

El proyecto se encuentra alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) N.º 9 y N.º 12, promoviendo la innovación tecnológica y la producción responsable dentro del sector ambiental.

Para reforzar su compromiso ambiental, CEA elab mantiene un Programa de Gestión de Sustancias Peligrosas y RAEE, conforme al Reglamento sobre gestión de residuos eléctricos y electrónicos (Ministerio del Medio Ambiente, 2024), garantizando la disposición final adecuada de los equipos obsoletos y de los reactivos usados.

2.3

Procedimiento analítico para la determinación de TOC.

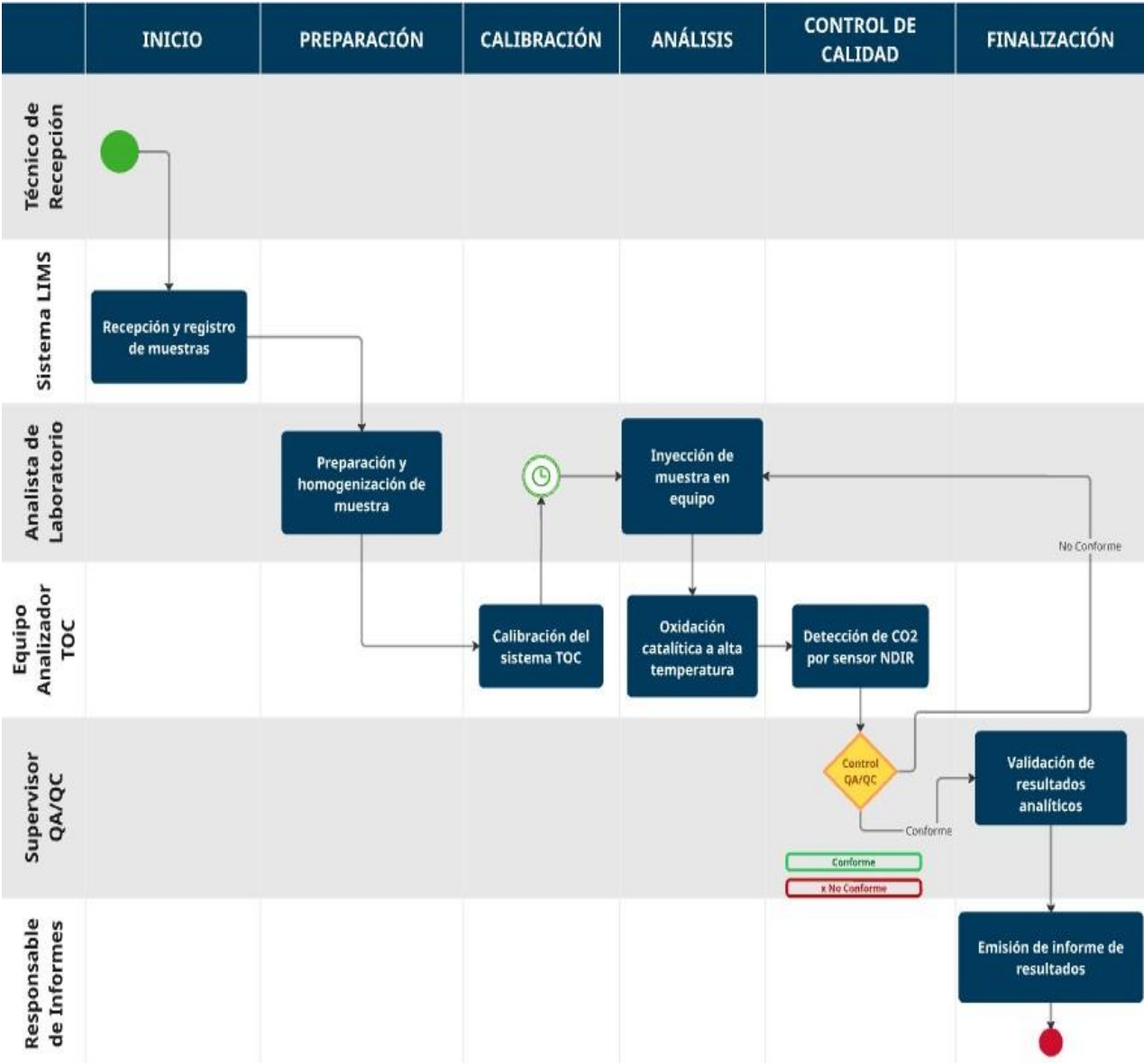


Figura 4. Diagrama BPMN , operacional.

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto asociado y especificaciones técnicas del equipo seleccionado.

2.4

Para realizar la selección del equipo dentro del laboratorio CEA elab se procedió a observar la precisión, vida útil y posicionamiento de marca por eso se optó la cotización de tres alternativas y seleccionar la mejor opción correspondiente al Moledo propuesto: Shimadzu TOC.

Tabla 2. Presupuesto de inversión.

	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (UF)</i>	<i>Costo Total (UF)</i>
<i>Equipo analizador TOC</i>			
<i>Shimadzu modelo TOC-LCPH</i>	1	1024.13	1024.13
<i>Importación (marítimo Japón-Chile), [CIF(Costo, Seguro y Flete)]</i>	1	35.95	35.95
<i>Instalación y validación IQ/OQ/PQ</i>	1	28.76	28.76
<i>Capacitación del personal (2 días)</i>	1	11.86	11.86
		Neto	1100.68
		IVA	209.13
		TOTAL	1309.81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Especificaciones técnicas de modelo Shimadzu TOC

Especificación	Valor
Rango de medición	0 – 30.000 mg/L
Límite de detección	4 ug/L
Precisión	CV <2%
Tiempo de análisis	3 – 4 minutos por muestra
Volumen de muestra	10 – 50 ml
Temperatura de combustión	680° C
Consumo eléctrico	1.2 kW
Dimensiones	420 x 450 x 450 mm

2.5

Peso	Aproximadamente 40 kg
------	-----------------------

Fuente: Elaboración propia.

Proceso logístico de equipo TOC.

El analizador TOC será adquirido a través de un proveedor autorizado correspondiente a la marca Shimadzu Corporation, representado en Chile por Aquatec S.A. La empresa garantiza soporte técnico local, calibraciones certificadas y disponibilidad permanente de repuestos. El proceso logístico de implementación contempla las siguientes etapas:



Figura 5. Proceso de Implementación.

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Plan de validación y calibración

El equipo analizador TOC Shimadzu modelo TOC-LCPH será validado con su respectivo protocolo relacionado a IQ/OQ/PQ. Esto consiste en :

- IQ (Installation Qualification): verificación de instalación correcta y cumplimiento de especificaciones
- OQ (Operational Qualification): Pruebas de funcionamiento con estándares certificados
- PQ (Performance Qualification): Validación con muestras reales y comparación

2.6

El programa de calibración consiste en una calibración inicial durante el periodo de instalación, seguido de una calibración de rutina diaria con estándares de trabajo valorizados, se procede a una verificación intermedia correspondiente a una vez por semana con material de referencia certificado para asegurar la correcta funcionalidad del equipo y por último se procede a la calibración completa del equipo en un periodo trimestral realizando una trazabilidad con patrones NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología)

2.6.1 Requisitos de instalación.

Tabla 4. Requisitos eléctricos de instalación del analizador TOC.

Categoría (Eléctrico)	Requisito	Especificación técnica	Estado actual de CEA elab	Adecuación necesaria
Alimentación	Voltaje	220V AC $\pm$ 10%, 50/60 Hz	220V disponible	Cumple
	Potencia Instalada	1.2 kW	3 kW disponibles	Cumple
	Circuito dedicado	Línea exclusiva 15A con protección térmica	Circuito compartido	Instalar circuito
	Tierra física	Resistencia < 10 Ω	No verificado	Verificar y mejorar si necesario
	UPS/Regulador	Recomendado 2 kVA	No disponible	Adquirir UPS

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Requisitos ambientales de instalación del analizador TOC.

Categoría (Ambiental)	Requisito	Especificación técnica	Estado actual de CEA elab	Adecuación necesaria
Temperatura	Operación	15-30°C (óptimo 20-25°C)	18-24°C con clima	Cumple
	Variación máxima	< 2°C/hora	Estable	Cumple
Humedad relativa	Rango operativo	35-80% sin condensación	45-65%	Cumple
Vibraciones	Nivel máximo	< 0.5 m/s ²	Piso firme, bajo tránsito	Cumple
Iluminación	Nivel recomendado	500-750 lux	600 lux	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Requisitos de gases y ventilación del analizador TOC.

Categoría (Gases y Ventilación)	Requisito	Especificación técnica	Estado actual de CEA elab	Adecuación necesaria
--	------------------	-------------------------------	----------------------------------	-----------------------------

Gas portador	Tipo	Aire ultrapuro o O ₂ (99.995%)	No disponible	Instalar línea de gas
	Presión	400-500 kPa	-	Incluir regulador de presión
	Consumo	500 mL/min	-	Cilindro 50L (autonomía 6 meses)
Extracción	Campana/ducto	Flujo mínimo 150 m³/h	Campana 200 m³/h existente	Cumple
	Filtración	Carbón activado para gases ácidos	No disponible	Instalar filtro

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Requisitos de agua para instalación de analizador TOC.

Categoría (Agua)	Requisito	Especificación técnica	Estado actual de CEA elab	Adecuación necesaria
Agua desionizada	Calidad	Tipo II: Resistividad > 1 MΩ·cm	Sistema DI existente	Cumple
	Consumo	2-3 L/día	20 L/día	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

2.7 Justificación operativa técnica.

2.7.1 Principios de funcionamiento:

El principio de funcionamiento del analizador TOC se basa en la oxidación catalítica con alta temperatura, proceso por el cual los compuestos orgánicos que están presentes en la muestra se transforman en dióxido de carbono (CO₂), posteriormente es medido por un detector infrarrojo no dispersivo (NDIR). Este método es sumamente reconocido por su alta exactitud y reproducibilidad, siendo recomendado por la EPA (Method 415.3) y la ISO 8245 para determinaciones ambientales de carbono orgánico

El sistema incluye módulos electrónicos de control, sensores de flujo y una interfaz digital conectada al sistema informático del laboratorio (LIMS), lo que permite un

registro automático de los resultados, eliminando errores de transcripción y mejorando la trazabilidad.

2.7.2 Beneficios operativos:

La incorporación del analizador TOC permitirá desde el punto de vista operativo:

- Reducir en un 30 % los tiempos de análisis en comparación con métodos manuales.
- Incrementar la confiabilidad de los resultados en un 20 %, gracias al control automatizado de calibraciones y estándares.
- Fortalecer la capacidad del laboratorio para participar en proyectos de monitoreo ambiental continuo.

2.7.3 Compatibilidad de infraestructura existente:

El estudio técnico concluye que el equipo es compatible con la infraestructura existente en CEA elab. ya que cuenta con suministro eléctrico estable, sistema de extracción de gases, y espacio físico suficiente para su instalación. Además, su operación no requiere modificaciones mayores en el layout actual del laboratorio.

2.8 Determinación de insumos, productos y subproductos.

En esta parte del informe se detallan todos los insumos a utilizar en el procesamiento de las muestras hasta la obtención de resultados. Dado que él es la actualización en la tecnología utilizada para la realización de análisis de calidad a los productos terminados, materia prima y productos en elaboración de la compañía.

2.8.1 Presupuesto de Instalación.

El siguiente presupuesto representa la inversión necesaria para la respectiva instalación de equipo TOC en empresa CEA elab y así se logran minimizar riesgos operativos que se pudiesen presentar en diferentes escenarios de un día operacional.

Tabla 8. Presupuesto de instalación.

	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (UF)</i>	<i>Costo Total (UF)</i>
Instalaciones eléctricas			
• Circuito dedicado a 220v 15A	1	4.79	4.79
• Verificación y mejora de tierra física	1	3.53	3.53
• UPS/ Regulador	1	10.85	10.85
Sistema de gases			
• Instalación línea de gas con regulador			
• Filtro carbón activado para extracción	1	7.06	7.06
Adecuación de lugar físico	1	4.79	4.79
• Reorganización de mobiliario			
Mano de Obra			
• Electricista certificado	1	3.53	3.53
• Técnico instalador de gases	16 hrs	0.96	15.34
Subtotal			
Imprevisto 10% (contingencia)	8 hrs	0.96	7.67
TOTAL			57.56
			5.56
			63.32

Fuente: Elaboración propia.

2.8.2 Presupuesto de mantención a equipo

El presupuesto de mantención se realiza una vez al año por recomendación del fabricante para su correcto funcionamiento y lograr una mayor vida útil del equipo.

Tabla 9. Presupuesto de mantención.

Cantidad Costo Unitario (UF) Costo Total (UF)

<i>Mantenimiento Preventiva</i>	1	13.87	13.87
<i>Analizador COT</i>			
Descripción del servicio			
• <i>Control de funcionamiento general</i>			
• <i>Revisión de sistema eléctrico y circuitos electrónicos</i>			
• <i>Limpieza interior</i>			
• <i>Chequeo de fugas</i>			
• <i>Revisión de conectores de gases</i>			
• <i>Ajustes de acuerdo con protocolos de servicio</i>			
• <i>Revisión de parámetros de software y compatibilidad</i>			
		Neto	13.87
		IVA	2.64
		TOTAL	16.51

Fuente: Elaboración propia.

2.8.3 Programa de trabajo; turno y gasto en personal

Para el desarrollo del proyecto se continua con el personal y turno con el cual la empresa cuenta, se agrega un analista de turno A continuación, se detalla el turno del personal que trabaja en el laboratorio de la empresa CEA elab, que se relaciona con el proyecto.

Tabla 10. Horario del personal de laboratorio.

Personal laboratorio	Turno lunes a viernes
Analista Químico	8:30 a 17:30 horas

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra el gasto de personal corresponde al sueldo del colaborador que se sumara al equipo de laboratorio para la implementación del proyecto.

Tabla 11. Salario Operacional.

	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (UF)</i>	<i>Costo Total Anual(UF)</i>
<i>Analista químico</i>	1	15.89	190.70

Fuente: Elaboración propia

2.8.4 Gastos energéticos.

Se muestra el consumo de energía eléctrica del equipo analizador TOC.

Tabla 12. Gasto energético anual.

	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Especificaciones del equipo		
• <i>Potencia nominal del equipo</i>	1.2	kW
• <i>Potencia stand-by</i>	0.15	kW
Uso de equipo		
• <i>Horas operación diaria</i>	8	hr/día
• <i>Horas en operación activa</i>	4	hr/día
• <i>Horas en stand-by</i>	4	hr/día
• <i>Días operativos al año</i>	250	días/año
Consumo energético		
• <i>Consumo en operación</i>	4.8	kW hr/día
• <i>Consumo en stand-by</i>	0.6	kW hr/día
Consumo Diario TOTAL	5.4	kW hr/día
Consumo Anual TOTAL	1350	kW hr/día

Tarifa Eléctrica Tarifa eléctrica BT1 (CLP)	4.2907	UF/año
	0.0032	UF/kW hr
Costo Energético Anual (CLP)		

Fuente: Elaboración propia.

2.8.5 Insumos para análisis.

En esta parte del informe se detallan todos los insumos a utilizarse en el procesamiento de las muestras hasta la obtención de resultados.

Tabla 13. Costos insumos del proyecto.

			Presentación Unitario	Cantidad Costo Anual (UF)	Costo Total (UF)
• Carbonato de sodio PA Merck (> 99.5%)	1 kg	1	0.18	0.18	
• Bicarbonato de sodio PA Merck (> 99.5%)	1 kg	1	0.12	0.12	
• Ftalato hidrogeno de potasio (KHP) estándar analítico Merck	100 gr	2	2.97	5.95	
• TOC estándar Merck (solución	500 mL	1	2.05	2.05	

• 1000 mg/L) MRC sólido orgánico estándar	50 gr	2	3.33	6.66
• OAC Merck Agua grado HPLC	4L	15	2.26	33.91
• Merck Cilindro O2 (Alta pureza)	-	5	6.05	30.27
			Neto	48.87
			IVA	9.28
			TOTAL	58.15

Fuente: Elaboración propia.

2.9 Producción de subcontratación.

La siguiente Figura 5 muestra la producción realizada en los laboratorios externos que subcontrata CEA elab a distintos laboratorios del mercado en el año 2023.

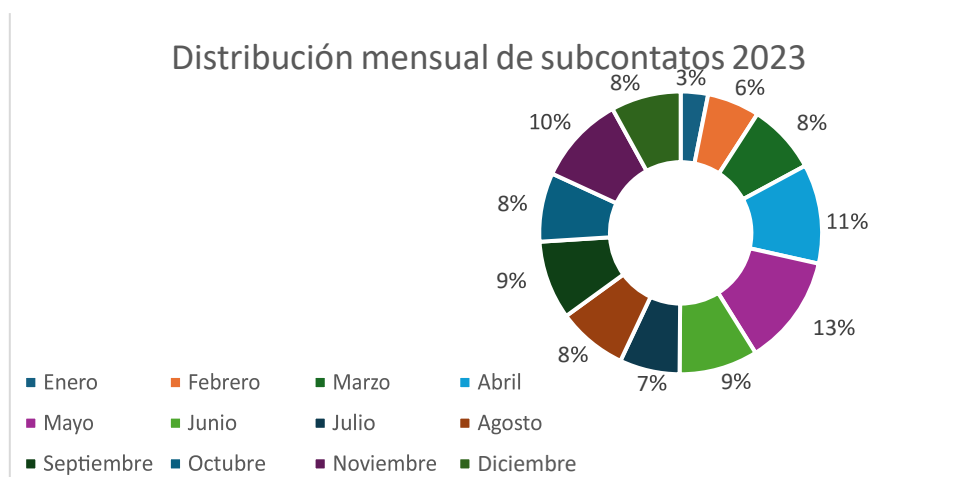


Figura 6. Producción anual, año 2023.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Figura 6 muestra la producción realizada en los laboratorios externos que subcontrata CEA elab a distintos laboratorios del mercado en el año 2024, se tomaron los datos de enero a octubre dejando afuera los meses de noviembre y diciembre.

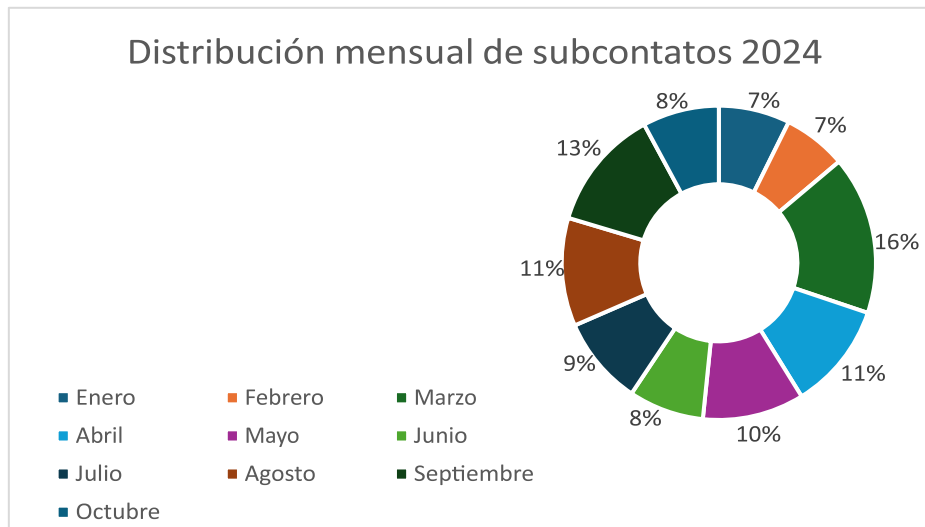


Figura 7. Producción anual, año 2024.

Fuente: Elaboración propia.

2.10 Personal de operaciones, cargos y perfiles.

En este ítem se mencionan el personal con sus cargos que el proyecto requiere para poder desarrollarse de buena manera.

2.10.1 Personal de laboratorio.

Para el proyecto funcione adecuadamente, se continua con el personal con que cuenta el laboratorio CEA elab y sumaran al equipo un analista de turno, quedando el equipo conformado de la siguiente manera:

- Jefe de laboratorio
- Coordinador de área cromatografía
- Analistas químicos
- Asistente de laboratorio

2.10.2 Cargos y perfiles.

La tabla 14. muestra cargos y perfiles de puesto personal del laboratorio.

Tabla 14. Cargos y perfiles.

Cargo	Tipo de contrato	Funciones	Formación
Jefe de laboratorio	Indefinido	-Supervisión y gestión del laboratorio - Coordinación de equipos de trabajo - Aseguramiento y control de calidad -Gestión de recursos y presupuesto -Cumplimiento normativo y certificaciones -Relación con clientes y proveedores	- Título profesional en Química, Bioquímica, Ingeniería Química o afines -Postgrado o diplomado en gestión de calidad (deseable) -Experiencia mínima: 5 años
Coordinador de área cromatografía	Indefinido	-Supervisión de análisis cromatográficos -Validación y verificación de métodos analíticos - Capacitación y entrenamiento de personal -Resolución de problemas técnicos - Control de calidad del área	-Título profesional en Química o Ingeniería Química -Especialización en técnicas cromatográficas -Conocimientos en GC, HPLC, UHPLC, MS -Experiencia mínima: 3-4 años

Analista químico	Indefinido	-Ejecución de análisis químicos según protocolos -Preparación y pretratamiento de muestras -Operación de equipos analíticos -Registro y reporte de resultados -Calibración de equipos	-Título profesional o técnico en Química - - Conocimientos en técnicas analíticas instrumentales - - Manejo de software de laboratorio -Experiencia mínima: 1-2 años
Asistente de laboratorio	Indefinido	-Preparación de soluciones y reactivos - - Limpieza y sanitización de material -Gestión de inventarios y stock -Apoyo logístico al equipo -Manejo de residuos químicos	-Estudiante o egresado de Química, Laboratorio Clínico o afines -Conocimientos básicos de laboratorio -Manejo de normas de seguridad - - Experiencia: No excluyente

Fuente: Elaboración propia.

2.11 Estructura organizacional.

La figura 7 muestra el organigrama del personal del laboratorio, destacando el área de interés para el correcto funcionamiento del proyecto.

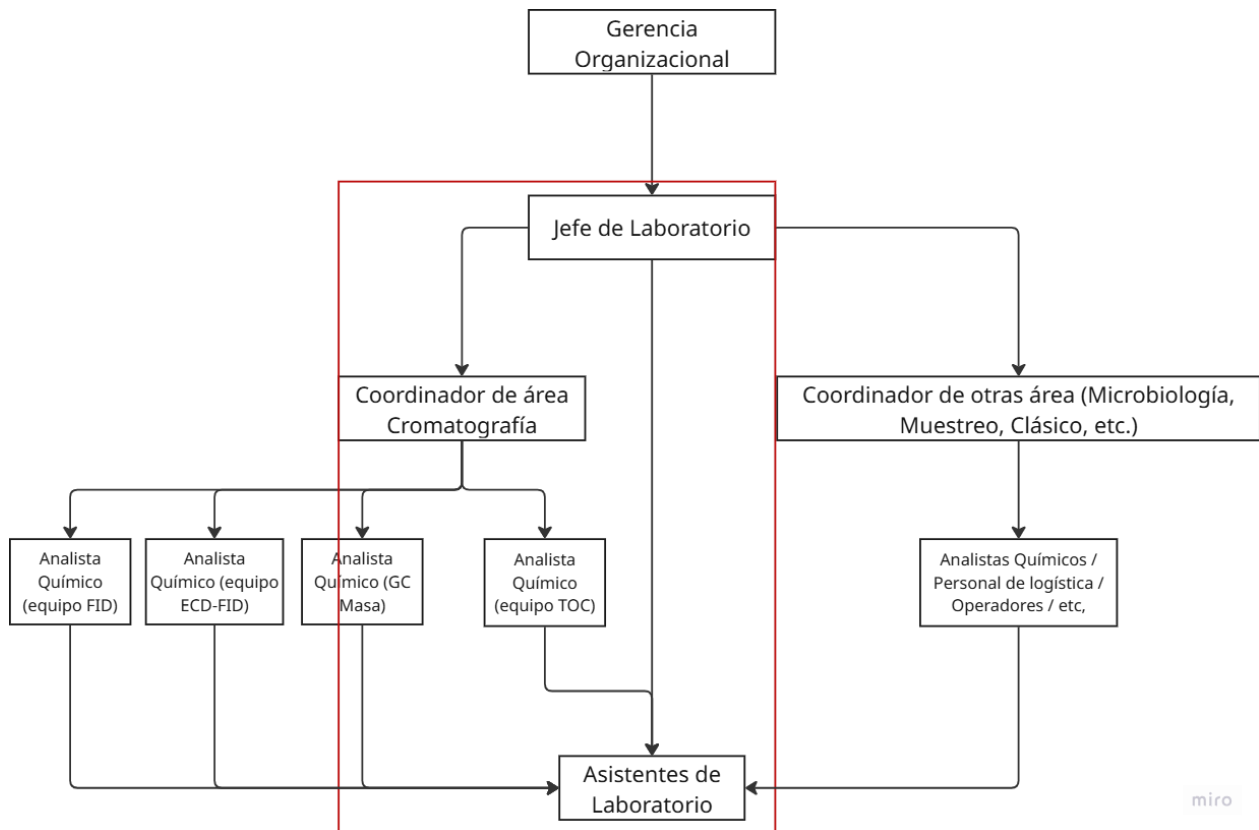


Figura 8. Estructura Organizacional de CEA elab.

Fuente: Elaboración propia.

2.12 Síntesis.

El estudio técnico, ambiental, logístico y administrativo demuestra la viabilidad integral de implementar un analizador de Carbono Orgánico Total en CEA elab. Desde el punto de vista técnico, el equipo cumple los requisitos de precisión y trazabilidad exigidos por la ISO/IEC 17025. Ambientalmente, el proyecto presenta un impacto positivo al reducir emisiones, consumo de recursos y residuos. Logísticamente, el proceso de adquisición y puesta en marcha es factible dentro de un plazo de cuatro meses y una inversión accesible para el laboratorio. Finalmente, la estructura organizativa actual garantiza la correcta operación, control de calidad y mantenimiento del equipo.

Capítulo III

ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

3 Evaluación económica y financiera.

La evaluación económica es el resultado del estudio del proyecto, en él se cuantifican todos los costos y utilidades que este generará a la empresa, además de evaluar los indicadores como el VAN, TIR y PRI.

3.1 Consideraciones.

Se toma como base el estudio de los capítulos anteriores, y con esto se evaluará el proyecto económicamente para determinar el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación de la inversión, para ello se construirá los flujos de caja y se realizarán los análisis de sensibilización para llegar a una conclusión, y de esta manera determinar si el proyecto es rentable o no para la compañía.

3.1.1 Horizonte del proyecto.

El proyecto se analizará, considerando un horizonte de 5 años, ya que en este tiempo se estipula suficiente para evaluar una inversión de este tipo.

3.1.2 Tasa de descuento.

La tasa de descuento determina la rentabilidad mínima aceptable que se espera del proyecto. Para realizar el cálculo de la tasa de descuento se considera utilizar el método CAPM que requiere de 3 variables para su cálculo:

- La tasa libre de riesgo (R_f) fijada por el banco central en los últimos años es de 2,26%
- La tasa de rendimiento esperado del mercado (R_m): corresponde al IPSA o IGPA de los últimos 10%
- Coeficiente β (β) para establecer este coeficiente se consultó el beta el cual es de 1,2 para empresas de laboratorios, tecnología e infraestructura ambiental.

Ecuación CAPM Con todos los valores determinados se realiza el cálculo de la tasa de descuento

$$R = R_f + \beta \times (R_m - R_f)$$

$$R = 2.26 + 1.2 \times (10 - 2.26)$$

$$R = 11.5$$

3.1.3 Moneda a utilizar

La moneda a utilizar para efecto de los cálculos de este proyecto es la unidad de fomento (UF), esto con el fin de poder representar las variaciones del peso, de acuerdo con la inflación presente en el momento. Todos los valores del proyecto se presentarán en UF la cual se reajusta diariamente de acuerdo con la inflación. El valor de UF considerado es al día 03-12-2025 con un valor de \$ 39.643,59-

3.1.4 Ingresos.

Los ingresos anuales son fijos ya que se calcularon en base a la subcontratación de los periodos 2023 y 2024. Por ende, son ingresos correspondiente al ahorro por no subcontratar el servicio.

Tabla 15. Datos de subcontratación (2023-2024)

AÑO	N.º análisis TOC externos	Costos unitario promedio (UF)	Costo total subcontratación (UF)
2023	863	1.5	1294.36
2024	736	1.5	1102.60
Promedio anual	800	1.5	1198.48

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 Costos y ahorro por análisis.

Los costos por análisis están compuestos por insumos, energía, personal y mantenimiento requerido para el equipo propio. Representado en la siguiente tabla 16.

Tabla 16. Costo de análisis interno con equipo propio.

Concepto	Costo unitario (UF)
Insumos por análisis	0.073
Energía por análisis	0.005
Personal	0.238
Mantenimiento	0.021
Costo total por análisis interno	0.337

Fuente: Elaboración propia.

Los beneficios internos obtenidos en el ahorro unitario del análisis son de 1.163 UF y el ahorro anual es de 930.4 UF, siendo beneficioso para el proyecto.

$$\text{Ahorro unitario} = \text{Costo externo} - \text{Costo interno}$$

$$\text{Ahorro unitario} = 1.5 \text{ UF} - 0.337 \text{ UF}$$

$$\text{Ahorro unitario} = 1.163 \text{ UF}$$

$$\text{Ahorro anual} = N^{\circ} \text{ analisis promedio} \times \text{Ahorro unitario}$$

$$\text{Ahorro anual} = 800 \text{ unidades} \times 1.163 \text{ UF}$$

$$\text{Ahorro anual} = 930.4 \text{ UF}$$

3.1.6 Impuesto.

El impuesto de primera categoría es el cual se determina sobre la base de utilidades líquidas obtenidas por la empresa, es decir sobre los ingresos obtenidos menos los gastos y se declara anualmente en la declaración de abril cada año, sobre las rentas percibidas el año anterior de calendario, para este proyecto el impuesto corresponde a 27%.

3.1.7 Depreciaciones.

Para efectos de evaluación financiera se considera una vida útil de 5 años alineada al horizonte del proyecto. Sin embargo, para efectos tributarios se aplica la vida útil según la tabla de vida útil fijada por el Servicio de Impuestos Internos, el equipo de carbono orgánico total se clasifica en la categoría “Maquinaria y equipos en general”, con una vida útil normal de 15 años y acelerada de 5 años, de acuerdo con lo detallado en la tabla 17. El valor residual al año 5 corresponde a 812.47 UF.

Tabla 17. Depreciación de activo.

Año	Valor Activo	Depreciacion Anual	Depreciacion Acumulada	Valor Neto en Libros	
0				\$48,314,000	
1	\$48,314,000	\$3,220,933	\$3,220,933	\$45,093,067	
2	\$48,314,000	\$3,220,933	\$6,441,867	\$41,872,133	
3	\$48,314,000	\$3,220,933	\$9,662,800	\$38,651,200	
4	\$48,314,000	\$3,220,933	\$12,883,733	\$35,430,267	
5	\$48,314,000	\$3,220,933	\$16,104,667	\$32,209,333	

Fuente: Elaboración propia

3.1.8 Capital de trabajo.

El capital de trabajo de cálculo mediante el método del ciclo de conversión de efectivo, considerando las necesidades de financiamiento del desfase temporal entre cobros y pagos operativos.

Componentes del capital de trabajo:

- Inventario de insumos (2 meses): 15.69 UF
- Cuentas por cobrar (30 días): 98.5 UF
- Efectivo mínimo operativo (1 mes): 19.39 UF
- Cuentas por pagar (30 días): 22.15 UF

$$\text{Capital de trabajo} = 15.69 \text{ UF} + 98.5 \text{ UF} + 19.39 \text{ UF} - 22.16 \text{ UF}$$

$$\text{Capital de trabajo} = 111.42 \text{ UF}$$

El capital neto requerido es de 111.42 UF. Este monto representa el 8.1% de la inversión total en equipamiento, proporción razonable para proyectos de implementación tecnológica que no requieren inventarios significativos ni créditos prolongados a clientes.

3.2 Flujos de caja.

El flujo de caja hace referencia a las salidas y entradas netas de dinero que tiene una empresa o proyecto en un período determinado.

Para realizar el flujo de caja y poder llevar a valor monetario el proyecto, los egresos se consideraron como egresos propios de la empresa. Sumando a estos egresos los desglosados en el capítulo anterior que son propios del proyecto en evaluación.

3.2.1 Proyecto puro.

El proyecto puro indica que la totalidad del capital necesario para el desarrollo del proyecto es de recursos propios de los inversionistas.

3.2.1.1 Flujo de caja sin financiamiento.

Impuesto =	27%	Flujo de Caja Puro				
Tasa Descuento=	11%					
TIA (Tasa de Interés Anual) LP	23%					
Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(+) Ingresos	0	1198.48	1198.48	1198.48	1198.48	1198.48
(-) Egresos	0	-269.65	-269.65	-269.65	-269.65	-269.65
(=) Margen (Utilidad Operacional)	0	928.83	928.83	928.83	928.83	928.83
(-) Depreciación	0	-81.25	-81.25	-81.25	-81.25	-81.25
(+) Valor Residual	0	0	0	0	0	812.47
(-) Intereses LP	0	0	0	0	0	0
(-) Pérdida del ejercicio anterior						
(=) Utilidad Antes de Impuesto	0	847.58	847.58	847.58	847.58	1660.05
(-) Impuesto	0	-228.85	-228.85	-228.85	-228.85	-448.21
(=) Utilidad Después de Impuestos	0	618.73	618.73	618.73	618.73	1211.84
(-) Amortización LP	0	0	0	0	0	0
(+) Pérdida del ejercicio anterior						
(+) Depreciación	0	81.25	81.25	81.25	81.25	81.25
(-) Inversión	-1373.13					
(=) FCAF flujo de Caja antes del Financiamiento	-1373.13	699.98	699.98	699.98	699.98	1293.09
(+) Financiamiento LP	0					
(±) Capital de Trabajo	-111.42					111.42
(=) FC Flujo de Caja	-1484.55	699.98	699.98	699.98	699.98	1404.51
(=) FCA Flujo de Caja Actualizado	-1484.55	629.20	565.57	508.38	456.97	824.18
(=) FCAA Flujo de Caja Actualizado Acumulado	-1484.55	-855.36	-289.79	218.59	675.56	1499.74

VAN =	1499.74
TIR =	43%
PRI =	3

Tabla 18. Flujo de caja puro.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Indicadores económicos.

Acá se muestran los indicadores económicos del flujo puro lo que muestran VAN y TIR positivos, además de mostrar que la inversión se recuperaría en el año 3 del proyecto.

Tabla 19. Indicadores económicos flujo puro.

VAN (UF)	1499.74
TIR (%)	43%
PRI (Años)	3

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3 Índice de valor actual neto sin financiamiento

Índice que mide cuánto valor genera el proyecto por cada unidad monetaria invertida.

Por cada UF invertida, se genera 1.09 UF (1% de rentabilidad relativa).

$$IVAN = \frac{VAN}{Inversión Inicial}$$

$$IVAN = \frac{1499.74}{1484.55}$$

$$IVAN = 1.01$$

3.2.1.4 Rentabilidad del proyecto puro.

La rentabilidad del flujo de caja para el proyecto puro es positiva se recupera la inversión dentro del periodo de evaluación, además de obtener VAN mayor que cero y TIR por sobre la tasa de descuento, lo que en conjunto indicaría buena rentabilidad del proyecto.

3.2.2 Proyecto con financiamiento.

El proyecto con financiamiento es el que se desarrolla con un % de capital propio más un % de capitales provenientes de financiamiento externo.

3.2.2.1

Flujo de caja con 50% de financiamiento.

Impuesto =	27%	Flujo de Caja Financiado 50%				
Tasa Descuento=	11%					
TIA (Tasa de Interés Anual) LP	23%					
Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(+) Ingresos	0.00	1198.48	1198.48	1198.48	1198.48	1198.48
(-) Egresos	0.00	-269.65	-269.65	-269.65	-269.65	-269.65
(=) Margen (Utilidad Operacional)	0.00	928.83	928.83	928.83	928.83	928.83
(-) Depreciación	0.00	-81.25	-81.25	-81.25	-81.25	-81.25
(+) Valor Residual	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	812.47
(-) Intereses LP	0.00	-106.79	-120.25	-135.40	-152.46	-171.67
(-) Pérdida del ejercicio anterior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(=) Utilidad Antes de Impuesto	0.00	740.79	727.33	712.18	695.12	1488.38
(-) Impuesto	0.00	-200.01	-196.38	-192.29	-187.68	-401.86
(=) Utilidad Después de Impuestos	0.00	540.78	530.95	519.89	507.44	1086.52
(-) Amortización LP	0.00	-106.79	-120.25	-135.40	-152.46	-171.67
(+) Pérdida del ejercicio anterior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(+) Depreciación	0.00	81.25	81.25	81.25	81.25	81.25
(-) Inversión	-1373.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(=) FCAF flujo de Caja antes del Financiamiento	-1373.13	515.23	491.95	465.74	436.23	996.10
(+) Financiamiento LP	686.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(±) Capital de Trabajo	-111.42	0.00	0.00	0.00	0.00	111.42
(=) FC Flujo de Caja	-797.99	515.23	491.95	465.74	436.23	1107.52
(=) FCA Flujo de Caja Actualizado	-797.99	463.13	397.49	338.26	284.78	649.91
(=) FCAA Flujo de Caja Actualizado Acumulado	-797.99	-334.86	62.63	400.89	689.67	1335.57

VAN =	1335.57
TIR =	60%
PRI =	2

Tabla 20. Flujo de caja 50% de financiamiento.

3.2.2.2

Fuente: Elaboración propia.

Flujo de caja con 75% de financiamiento.

Impuesto =	27%	Flujo de Caja Financiado 75%				
Tasa Descuento=	11%					
TIA (Tasa de Interés Anual) LP	23%					
Año	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos	0.00	1198.48	1198.48	1198.48	1198.48	1198.48
(-) Egresos	0.00	-269.65	-269.65	-269.65	-269.65	-269.65
(=) Margen (Utilidad Operacional)	0.00	928.83	928.83	928.83	928.83	928.83
(-) Depreciación	0.00	-81.25	-81.25	-81.25	-81.25	-81.25
(+) Valor Residual	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	812.47
(-) Intereses LP	0.00	-129.76	-109.58	-86.85	-61.26	-32.45
(-) Pérdida del ejercicio anterior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(=) Utilidad Antes de Impuesto	0.00	717.82	738.00	760.73	786.32	1627.61
(-) Impuesto	0.00	-193.81	-199.26	-205.40	-212.31	-439.45
(=) Utilidad Después de Impuestos	0.00	524.01	538.74	555.33	574.01	1188.15
(-) Amortización LP	0.00	-160.19	-180.37	-203.10	-228.69	-257.50
(+) Pérdida del ejercicio anterior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(+) Depreciación	0.00	81.25	81.25	81.25	81.25	81.25
(-) Inversión	-1373.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(=) FCAF flujo de Caja antes del Financiamiento	-1373.13	445.07	439.62	433.48	426.57	1011.90
(+) Financiamiento LP	1029.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(±) Capital de Trabajo	-111.42	0.00	0.00	0.00	0.00	111.42
(=) FC Flujo de Caja	-454.70	445.07	439.62	433.48	426.57	1123.32
(=) FCA Flujo de Caja Actualizado	-454.70	400.06	355.20	314.83	278.48	659.18
(=) FCAA Flujo de Caja Actualizado Acumulado	-454.70	-54.64	300.56	615.39	893.87	1553.04

VAN =	1553.04
TIR =	99%
PRI =	2

3.2.2.3

Tabla 21. Flujo de caja 75% de financiamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Indicadores económicos.

La tabla 20 muestra los indicadores económicos con los distintos financiamientos del proyecto. El escenario con 75% de financiamiento presenta un IVAN de 3.41, significativamente superior al proyecto sin financiamiento (IVAN=1.01) y con 50% de financiamiento (IVAN=1.67). Esto demuestra que el apalancamiento financiero maximiza el retorno por cada unidad de capital propio comprometido, convirtiendo una inversión de 454.70 UF en un valor presente neto de 1,553.04 UF

Tabla 22. Indicadores económicos de flujo 0%, 50% y 75% de financiamiento.

% Financiamiento	0	50	75
VAN (UF)	1499.74	1335.57	1553.04
TIR (%)	43%	60%	99%
PRI (Años)	3 años	2 años	2 años
IVAN	1.01	1.67	3.41

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.4 Rentabilidad del proyecto con financiamiento

Como se observa en los indicadores de los flujos de cajas financiados estos son positivos, el VAN es mayor que cero y un poco más alto cada vez que se aumenta el financiamiento y el TIR es mayor a la tasa de descuento y de igual manera que el VAN aumenta al aumentar el financiamiento. Pero en comparativa con el flujo de caja puro estos no representan diferencia significativa, en cuanto a rentabilidad. El PRI con los diferentes financiamientos se observa que ocurre en el periodo 3 y 2 del horizonte de evaluación.

3.3 Análisis de Sensibilidad

3.2.2.4

El análisis de sensibilidad muestra como varía el proyecto al cambiar alguna variable, este análisis se realiza con los indicadores económicos más representativos del proyecto como el VAN.

3.3.1 Sensibilidad del VAN

El análisis de sensibilidad del VAN se realiza con respecto a una variación de -20%, -15%, -10%, -5%, +5%, +10%, +15% y +20% con las variables precio y ventas afectando directamente los ingresos.

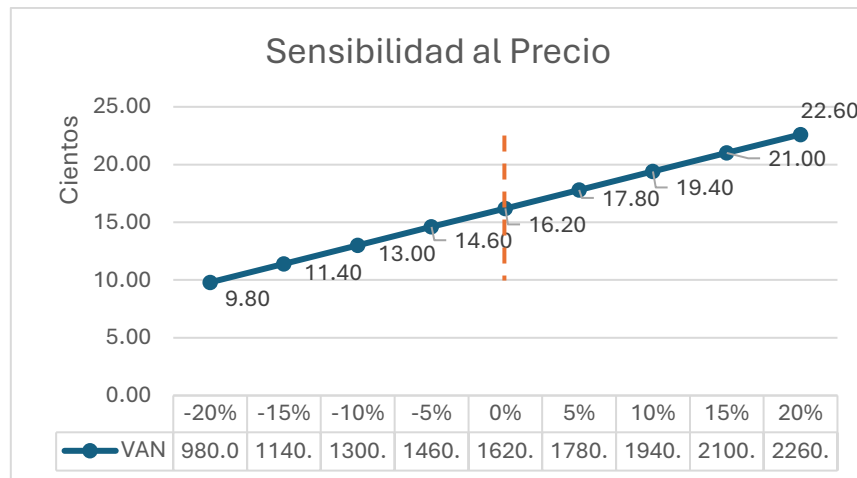


Figura 9. Sensibilidad al Precio
Fuente: Elaboración propia

La siguiente Figura 9 muestra cómo afecta solo el precio (manteniendo las ventas constantes) identificando el posicionamiento del VAN cuando es igual a 0 con respecto a la variable precio.

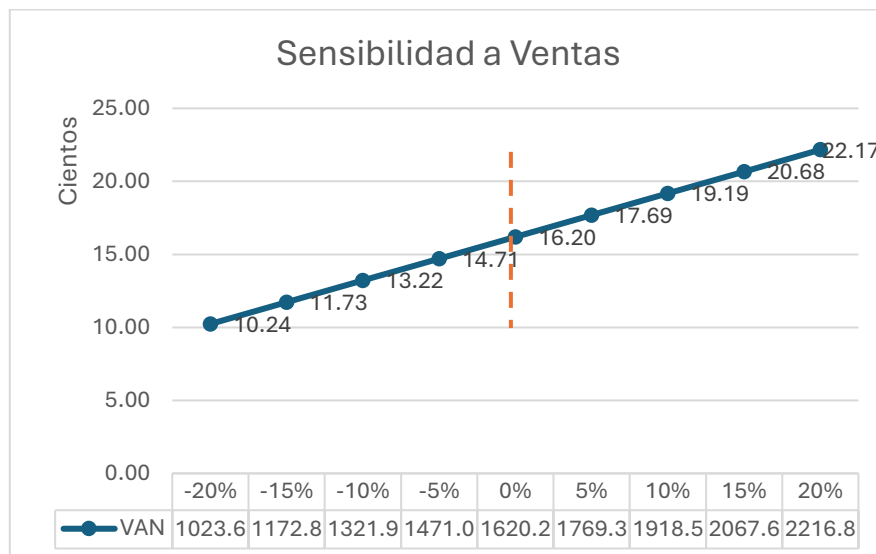


Figura 10. Sensibilidad a Ventas
Fuente: Elaboración propia

La siguiente Figura 10 muestra cómo afecta solo las ventas (manteniendo el precio constante) identificando el posicionamiento de VAN cuando es igual a 0 con respecto a la variable ventas.

			PRECIO								(UF/unid)
			-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%
			1.20	1.28	1.35	1.42	1.50	1.58	1.65	1.72	1.80
VENTAS	-20%	640	392.87	522.38	651.88	781.38	910.89	1040.39	1169.90	1299.40	1428.91
	-15%	680	513.95	651.55	789.15	926.75	1064.35	1201.94	1339.54	1477.14	1614.74
	-10%	720	635.03	780.73	926.42	1072.11	1217.80	1363.50	1509.19	1654.88	1800.57
	-5%	760	756.12	909.90	1063.69	1217.47	1371.26	1525.05	1678.83	1832.62	1986.41
	0%	800	877.20	1039.08	1200.96	1362.84	1524.72	1686.60	1848.48	2010.36	2172.24
	5%	840	998.28	1168.25	1338.23	1508.20	1678.17	1848.15	2018.12	2188.10	2358.07
	10%	880	1119.36	1297.43	1475.50	1653.56	1831.63	2009.70	2187.77	2365.84	2543.91
	15%	920	1240.44	1426.60	1612.76	1798.93	1985.09	2171.25	2357.41	2543.58	2729.74
	20%	960	1361.52	1555.78	1750.03	1944.29	2138.55	2332.80	2527.06	2721.32	2915.57

(unid/año)

VAN > 1261 UF	(Excelente)
VAN 757 - 1261 UF	(Muy bueno)
VAN 252 - 757 UF	(Bueno)
VAN 0 - 252 UF	(Marginal)
VAN < 0 UF	(No viable)

Figura 11. Matriz de Sensibilidad
Fuente: Elaboración propia

La siguiente Figura 11 identifica las combinaciones de riesgo donde el proyecto deja de ser viable.

La presente matriz se deduce como zonas de riesgo a las caídas mayor a un 20% en precio y en ventas, mayor a un 30 % solo en precio y mayor a un 35% solo en volumen de muestras.

En cambio, el proyecto mantiene viabilidad reduciendo hasta un -15% en precio y ventas, mantiene un margen de seguridad amplio y mientras exista mas incremento va mejorando significativamente el VAN.

Conclusiones

El presente estudio técnico-económico demuestra la viabilidad de implementar un analizador de Carbono Orgánico Total (TOC) modelo Shimadzu TOC-LCPH en el laboratorio CEA elab. Los resultados confirman que el proyecto es técnicamente factible, económicamente rentable y estratégicamente pertinente para fortalecer las capacidades analíticas internas de la organización.

El diagnóstico realizado mediante análisis FODA y Diagrama de Ishikawa permitió cuantificar los impactos críticos de la externalización actual del análisis TOC. La dependencia de laboratorios externos genera retrasos de cinco días en la entrega de resultados, cuando el proceso interno proyectado permitiría reducir este tiempo a dos días, representando una mejora del 60% en la eficiencia temporal. En términos económicos, el costo unitario externo de UF 1.5 por análisis contrasta significativamente con el costo interno proyectado de UF 0.337, generando un ahorro unitario de UF 1.163 (77.5% de reducción). Con un volumen promedio de 800 análisis anuales basado en datos históricos de 2023-2024, esto se traduce en un ahorro anual de UF 930.4. Adicionalmente, la externalización provoca una pérdida total de trazabilidad interna, comprometiendo el aseguramiento de calidad que requiere la acreditación ISO/IEC 17025:2017. El análisis causa-raíz identificó que la principal barrera para la internalización ha sido la limitación financiera histórica, requiriendo una inversión inicial de UF 1,373.13.

La evaluación tecnológica comparó tres alternativas de equipamiento mediante análisis multicriterio, resultando en la selección del analizador Shimadzu TOC-LCPH. Este equipo cumple los requerimientos técnicos y normativos del laboratorio, con especificaciones que incluyen un rango de medición de 0-30,000 mg/L adecuado para matrices complejas, un límite de detección de 4 µg/L que supera las exigencias de la norma ISO/IEC 17025:2017, y una precisión con coeficiente de variación inferior al 2% que garantiza la reproducibilidad analítica requerida. El método de combustión catalítica a 680°C con detección infrarroja no dispersiva (NDIR) está validado por la EPA (Method 415.3) y la ISO 8245, asegurando la confiabilidad de los resultados. Las ventajas competitivas identificadas incluyen soporte técnico local consolidado a través de Aquatec S.A., disponibilidad permanente de repuestos y consumibles en Chile, capacidad de integración con el sistema LIMS existente que elimina la transcripción manual de datos, y bajo consumo de reactivos mediante optimización química integrada. La

evaluación de compatibilidad infraestructural confirmó que el laboratorio CEA elab cumple con los requisitos eléctricos, ambientales y de servicios del equipo, requiriendo únicamente adecuaciones menores por un valor de UF 63.32.

La evaluación económica del proyecto analizó tres escenarios de financiamiento, demostrando viabilidad financiera consistente en todos los casos. La inversión inicial total de UF 1,373.13 se descompone en el equipo base (UF 1,024.13), importación CIF desde Japón (UF 35.95), instalación y validación IQ/OQ/PQ (UF 28.76), capacitación del personal (UF 11.86), adecuaciones de instalación (UF 63.32) y capital de trabajo (UF 111.42). Los costos operativos anuales ascienden a UF 269.65, incluyendo insumos reactivos (UF 58.15), energía eléctrica (UF 4.29), personal adicional (UF 190.70) y mantenimiento preventivo (UF 16.51). El proyecto sin financiamiento presenta un Valor Actual Neto de UF 1,499.74, una Tasa Interna de Retorno del 43% y un período de recuperación de tres años. El escenario con 50% de financiamiento arroja un VAN de UF 1,335.57, TIR del 60% y período de recuperación de dos años. El escenario óptimo identificado es el financiamiento al 75%, que maximiza tanto el VAN (UF 1,553.04) como la TIR (99%), reduce el período de recuperación a dos años y minimiza el capital propio comprometido a UF 454.70. Todos los indicadores superan ampliamente la tasa de descuento del 11.5% calculada mediante el modelo CAPM, confirmando la robustez económica del proyecto. El análisis de sensibilidad demuestra que el proyecto mantiene su viabilidad incluso con reducciones de hasta 15% en el precio unitario o en el volumen de análisis, identificando como zona de riesgo únicamente las caídas simultáneas superiores al 20% en ambas variables.

El plan de implementación se estructuró en cuatro fases escalonadas durante un período de cuatro meses. La primera fase de aprobación y preparación contempla la habilitación de infraestructura eléctrica con circuito dedicado de 15A, instalación del sistema de gases con oxígeno de alta pureza (99.995%) y adquisición de UPS de 2 kVA, con una inversión de UF 63.32. La segunda fase de importación y logística incluye la tramitación aduanera y el transporte marítimo desde Japón mediante términos CIF, con un plazo estimado de 45-60 días. La tercera fase de instalación y validación ejecuta el protocolo IQ/OQ/PQ conforme a la norma ISO/IEC 17025:2017, donde la calificación de instalación verifica especificaciones y documentación, la calificación operacional realiza pruebas funcionales con estándares certificados NIST, y la calificación de desempeño valida resultados con muestras reales mediante comparación interlaboratorio, requiriendo una inversión de UF 28.76. La cuarta fase de capacitación y puesta en marcha comprende un programa intensivo de 16 horas que abarca

principios operativos del método de combustión catalítica, protocolos de calibración y verificación, mantenimiento preventivo y correctivo, y resolución de problemas técnicos, con una inversión de UF 11.86. El programa de mantenimiento estructurado establece calibraciones diarias con estándares de trabajo, verificaciones semanales con material de referencia certificado, calibraciones trimestrales completas con patrones NIST trazables, y mantenimiento preventivo anual integral por UF 16.51 que incluye control funcional, limpieza y revisión electrónica, verificación de fugas y actualización de software.

El proyecto se diseñó en estricta conformidad con el marco normativo nacional e internacional aplicable a laboratorios de ensayo acreditados. La norma ISO/IEC 17025:2017 establece los requisitos de competencia técnica que el proyecto cumple mediante la especificación adecuada del equipamiento, la implementación de un programa de calibración con trazabilidad metrológica a patrones NIST, y la capacitación documentada del personal operativo. La norma ISO/IEC 17020:2012 aplicable a organismos de inspección es cumplida por CEA elab en su rol de Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA 017-01). El método analítico seleccionado está validado por la EPA (Method 415.3) y la ISO 8245:1999 para determinación de carbono orgánico en agua, garantizando la aceptación de los resultados por organismos reguladores. La Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y las resoluciones de la Superintendencia del Medio Ambiente establecen el contexto regulatorio que justifica la creciente demanda de análisis TOC. La normativa sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) del Ministerio del Medio Ambiente asegura la gestión ambientalmente responsable del equipo al final de su vida útil. El sistema de aseguramiento de calidad implementado incluye trazabilidad metrológica mediante la cadena NIST-MRC-estándares de trabajo, cartas de control para seguimiento de precisión y exactitud, participación en ensayos de aptitud interlaboratorios, y evaluación de incertidumbre de medición conforme a la Guía GUM. Desde la perspectiva ambiental, el proyecto genera impactos positivos al minimizar residuos mediante volúmenes reducidos de reactivos, eliminar el consumo de papel mediante registro digital al 100%, reducir la huella de carbono al eliminar el transporte externo estimado en 800 kilómetros anuales, y asegurar la disposición final responsable de consumibles conforme al Reglamento RAEE.

La implementación del analizador TOC genera beneficios cuantificables en múltiples dimensiones del desempeño organizacional de CEA elab. Desde la perspectiva técnica, se fortalecen las capacidades analíticas internas en un parámetro crítico para el monitoreo ambiental, se mejora la trazabilidad al mantener el 100% de las muestras bajo control interno,

y se incrementa la confiabilidad de resultados en un 20% mediante la automatización de calibraciones y controles. En el ámbito operativo, la reducción del 60% en el tiempo de entrega de resultados (de cinco a dos días) representa una ventaja competitiva significativa, se habilita la capacidad de respuesta inmediata ante urgencias o desviaciones analíticas que actualmente toman días en detectarse, y se logra autonomía operativa completa eliminando la dependencia de terceros para un análisis esencial. Los beneficios económicos incluyen un ahorro anual de UF 930.4 por eliminación de costos de subcontratación, una reducción del 77.5% en el costo unitario por análisis, y un retorno de la inversión en dos a tres años según el escenario de financiamiento seleccionado. La dimensión competitiva se fortalece mediante un posicionamiento diferenciado en licitaciones que valoran los tiempos de respuesta cortos, el fortalecimiento de la imagen técnica ante clientes industriales y organismos reguladores que priorizan laboratorios con capacidades internas, y el cumplimiento anticipado de tendencias regulatorias crecientes impulsadas por la Superintendencia del Medio Ambiente. Finalmente, desde la perspectiva formativa, el proyecto contribuye al desarrollo de competencias técnicas especializadas en el personal del laboratorio, genera conocimiento aplicado en implementación de equipamiento analítico que puede ser replicado en otras organizaciones similares, y fortalece el sector ambiental nacional mediante un caso de estudio documentado.

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda optar por el financiamiento del 75% de la inversión inicial, lo que equivale a un préstamo de UF 1,029.85, debido a que esta alternativa maximiza el Valor Actual Neto (UF 1,553.04), que resulta 3.7% superior al escenario sin financiamiento, maximiza la Tasa Interna de Retorno alcanzando el 99%, que es 130% superior al escenario puro, minimiza el compromiso de capital propio a UF 454.70 frente a los UF 1,484.55 requeridos sin financiamiento, preserva liquidez organizacional para inversiones complementarias o contingencias imprevistas, y mantiene un período de recuperación favorable de dos años. Se sugiere ejecutar la implementación durante un período de baja demanda estacional para minimizar el impacto en las operaciones cotidianas durante las fases de instalación y validación, permitir capacitación intensiva del personal sin presión productiva, y facilitar las comparaciones interlaboratorio necesarias durante la validación de desempeño. El programa de capacitación inicial de dos días debe complementarse con sesiones trimestrales de actualización técnica de cuatro horas cada una, entrenamiento cruzado para certificar a dos analistas y asegurar redundancia operativa, participación anual en seminarios técnicos organizados por Shimadzu, y certificación externa deseable en el método EPA 415.3. Para la gestión de riesgos operativos, se recomienda establecer una

reserva de repuestos críticos que incluya al menos un tubo de combustión catalítica con vida útil de dos años, estándares de calibración certificados con stock para seis meses, y consumibles básicos como ácido fosfórico y persulfato con stock para tres meses, lo que representa una inversión estimada de UF 40-50 no incluida en el flujo de caja base, pero necesaria para garantizar continuidad operativa. El sistema de monitoreo de desempeño debe implementar indicadores técnicos mensuales como el coeficiente de variación de repetibilidad inferior al 2%, la recuperación de material de referencia certificado entre 95-105%, y la disponibilidad del equipo superior al 95%; indicadores operativos mensuales como el tiempo promedio de entrega inferior a dos días, el número de análisis mensuales igual o superior a 67, y la tasa de retrabajos inferior al 2%; indicadores económicos trimestrales que comparen el ahorro acumulado versus el proyectado, el costo real versus el presupuestado, y calculen el retorno de inversión parcial; e indicadores de satisfacción trimestrales mediante encuestas a clientes internos y externos con meta de calificación igual o superior a 4 sobre 5. Finalmente, se recomienda establecer un ciclo de revisión anual para la mejora continua del sistema, evaluando la eficiencia de los métodos analíticos con posibilidad de reducir tiempos de análisis, actualizando calibraciones y protocolos según mejores prácticas emergentes, explorando nuevas aplicaciones o matrices que expandan los servicios ofrecidos, realizando benchmarking con laboratorios similares para identificar oportunidades de optimización, y evaluando oportunidades de expansión de los servicios TOC hacia nuevos segmentos de mercado.

En síntesis, el estudio técnico-económico realizado confirma de manera integral que la implementación del analizador de Carbono Orgánico Total modelo Shimadzu TOC-LCPH en el laboratorio CEA elab es técnicamente viable, económicamente rentable, normativamente conforme y estratégicamente pertinente. El diagnóstico cuantificó impactos significativos de la externalización actual, identificando reducciones potenciales del 60% en tiempos de entrega y 77.5% en costos unitarios de análisis. La alternativa tecnológica seleccionada cumple integralmente los requisitos técnicos, normativos y operativos del laboratorio, ofreciendo ventajas competitivas de soporte local consolidado y compatibilidad con la infraestructura existente. La viabilidad económica es robusta en todos los escenarios evaluados, con indicadores financieros altamente favorables que incluyen un VAN entre UF 1,499 y UF 1,553, una TIR entre 43% y 99%, y un período de recuperación de dos a tres años, todos superando ampliamente la tasa de descuento del 11.5%. El plan de implementación es técnicamente factible en un plazo de cuatro meses, estructurado en fases escalonadas con protocolos de

instalación, validación y capacitación conformes a la norma ISO/IEC 17025:2017. El cumplimiento normativo es integral, garantizando trazabilidad metrológica mediante la cadena NIST, aseguramiento de calidad mediante cartas de control y ensayos de aptitud, y gestión ambiental responsable conforme al Reglamento RAEE. Por tanto, se concluye que la implementación del analizador TOC debe ejecutarse prioritariamente con financiamiento del 75% para maximizar el retorno sobre inversión, preservar la liquidez organizacional, y fortalecer de manera sustancial la autonomía operativa, la competitividad comercial y el posicionamiento técnico de CEA elab en el mercado de servicios analíticos ambientales.

Referencias Bibliográficas.

- American Water Works Association (AWWA). (2020). *Internalization of critical water quality analyses to improve efficiency.*

- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2022). *Manual de acreditación de laboratorios ISO/IEC 17025*.
- International Accreditation Service (IAS). (2018). *ISO/IEC 17020 Conformity assessment — Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection*.
- ISO. (2017). *ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*.
- Shimadzu Corporation. (2023). *TOC-L series: High performance total organic carbon analyzers*.
- Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). (2023). *Informe anual de fiscalización ambiental*.
- Ley N° 19.300. (1994). Bases Generales del Medio Ambiente. Diario Oficial de Chile.
- Horowitz, A. J. (2020). *Water quality data: Analysis and interpretation*. CRC Press.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2021). Method 415.3: Determination of total organic carbon in water by combustion or UV-persulfate oxidation. Washington, D.C.
- World Health Organization (WHO). (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Parameters of organic contamination*. Geneva.
- Shimadzu Corporation. (2024). *Application Data Book: TOC-L Series environmental monitoring systems*. Kyoto, Japan.
- Morales, L., & Carvajal, P. (2022). Gestión de calidad y acreditación en laboratorios ambientales: experiencias en Chile. *Revista Chilena de Ingeniería Ambiental*, 14(3), 55–68.→ Refuerza el contexto nacional y las ventajas de ISO 17025.