Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Economía Circular mención en Sostenibilidad Ambiental y Social

Huellas de carbono en un laboratorio ambiental: estrategias de gestión del agua, la energía y los envases

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Desarrollo sostenible y Economía Circular con mención en Sostenibilidad Ambiental y Social

Autor:

María Fernanda Manobanda Lisintuña

Director:

Cristina Alejandra Villamar Ayala

ORCID: 0000-0003-4654-0670

Cuenca, Ecuador

2024-12-19

Resumen

Los laboratorios ambientales pueden ser espacios donde el agua, la energía y los recursos se utilicen de forma más eficiente, teniendo en cuenta sus requisitos de acreditación. El objetivo de este estudio es evaluar las huellas de carbono e hídrica dentro de un laboratorio ambiental basándose en la gestión del agua, la energía y los recursos (envases). La metodología utilizada fue el análisis del ciclo de vida (ISO 14040:2006, ISO 14044:2007) aplicado a 17 tipos de ensayos en aguas (agua natural/agua residual) de un laboratorio ambiental acreditado (ISO/IEC 17025). Los límites del sistema correspondieron a la cuna a la puerta, utilizando 1 muestra de agua analizada como unidad funcional. Se evaluó varios escenarios: (EB) escenario base, (E1) reducción del consumo energético, (E2) matriz energética 100% renovable, y (E3) reducción del consumo de materiales. Los resultados mostraron que el laboratorio en condiciones normales genera una huella de carbono de 10,10 kg CO_2-eq/muestra (82% de energía utilizada); y una huella hídrica de 11,76 m^3/muestra (97% de agua indirecta). El E2 permitió reducir el 75% de la huella de carbono, disminuyendo las emisiones hasta 12 veces (1583 kg CO_2-eq/año). Por su parte, el E3, permitió una reducción del 6% de la huella hídrica, disminuyendo el consumo directo de agua hasta un 0,3%. Aunque los costes no se ven afectados significativamente por estos escenarios, el ahorro en el consumo de energía basado en la eliminación del consumo fantasma (E1) puede reducir en un 7,8% el coste por cada muestra de agua analizada (83 USD/año).

Palabras clave del autor: ensayos en agua, huella hídrica indirecta, energía renovable, consumo fantasma, laboratorio acreditado

Abstract

Environmental laboratories can be spaces where water and energy and resources can be used more efficiently, considering your accreditation requirements. The aim of this study is to evaluate the carbon and water footprints within an environmental laboratory based on water, energy and resource (packaging) management. The methodology used life cycle analysis applied (ISO 14040:2006, ISO 14044:2007) to 17 assays water (natural water/wastewater) types from an accredited environmental laboratory (ISO/IEC 17025). System boundaries corresponded to cradle to gate, using 1 analyzed water sample as functional unit. This study evaluated several sceneries: (EB) baseline scenario, (E1) energy consumption reduction, (E2) energy matrix 100% renewable, and (E3) material consumption reduction. Results showed that the laboratory in normal conditions generates a carbon footprint of 10.10 kg CO_2-eq/sample (82% energy used); and the water footprint of 11.76 m^3/sample (97% indirect water). The E2 allowed to reduce the 75% of the carbon footprint, decreasing emissions up to 12 times (1,583 kg CO_2-eq/year). Meanwhile, the E3 led to a 6% reduction in the water footprint, decreasing direct water consumption up to 0.3%. Although costs are not significantly affected by these scenarios, savings in energy consumption based on phantom power (E1) can reduce by 7.8% cost per each water sample analyzed (83 USD/year).

Author Keywords: water assays, indirect water footprint, renewable energy, phantom power, accredited laboratory

Índice de contenido

1. Introducción 9
2. Materiales y Métodos 11
2.1. Objetivo y alcance 11
2.2. Límites del sistema 12
2.3. Unidad funcional 13
2.4. Datos del inventario 13
2.5. Fuentes de información para el cálculo de las huellas 14
2.6. Escenarios 16
2.7. Análisis de la base de datos 17
3. Resultados y discusión 19
3.1. Huella de carbono e hídrica del escenario base 19
3.2. Huella de carbono e hídrica del escenario base 21
3.3. Análisis comparativo de las huellas y los costos de los escenarios modelados 25
4. Conclusión 27
Referencias 28
Anexos 32

Índice de figuras

Figura 1 Límites del sistema para el análisis por unidad funcional (1 muestra de agua analizada) 13
Figura 2 Escenarios de estudio 17
Figura 3 Resultados del escenario base EB 21
Figura 4 Resultados del escenario Reducción del consumo de energía E1 23
Figura 5 Resultados del escenario Matriz energética 100% renovable E2 24
Figura 6 Resultados del escenario Reducción del consumo de materiales E3 25

Índice de tablas

Tabla 1 Parámetros y su frecuencia de ingreso en el laboratorio.....12
Tabla 2 Datos de análisis de una muestra de agua considerados para el inventario 14
Tabla 3 Factor de emisión FE para la producción de materiales y su fuente de datos.....14
Tabla 4 Huella hídrica para la producción de materiales y su fuente de datos.....15
Tabla 5 Análisis comparativo de escenarios modelizados por muestra 27

Agradecimiento

A Dios, por brindarme la fortaleza para afrontar los retos que se presentan y alcanzar mis metas de su mano. Además, por bendecirme con una familia maravillosa en la cual nunca ha faltado el amor.

A mis padres, que me brindan su apoyo incondicional y con su amor me ayudan a ser fuerte y alcanzar todo lo que me he propuesto. A mis hermanos: Luis y Víctor, que se preocupan por mí en todo momento.

A los amigos que me han acompañado a lo largo de mi vida: Bryan, Lizeth y Taty, por su amistad incondicional que ha superado las barreras del tiempo.

A la Ph.D. Cristina Villamar, por compartir sus conocimientos y guiarme en este proceso, por su paciencia, dedicación y el tiempo que me brindó.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres: Elena y Jorge, todo su amor es mi motor para ser una mejor persona e hija, lo que soy es gracias a su esfuerzo.

Los amo.

1. Introducción

En 2022, las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) alcanzaron aproximadamente 57,4 Gt CO_2 eq, lo que refleja un aumento del 1,2% en comparación con 2021. En cambio, la tasa de crecimiento anual durante la década anterior a COVID-19 (2010 - 2019) fue ligeramente inferior, del 0,9% (PNUMA, 2023). El Instituto de la Energía (2024) refiere que para el 2023 la demanda mundial neta de electricidad aumentó un 2% respecto al 2022, alcanzando los 620 EJ (exajulios). En 2023, las emisiones procedentes de la energía directa superaron por primera vez los 35 Gt CO_2 eq. Según el Ministerio de Energía y Minas de Ecuador (2022), las emisiones de GEI en Ecuador alcanzaron 41496 kt CO_2 eq en 2022, incrementándose 7,2% respecto a 2021. En cuanto a la demanda energética ecuatoriana, alcanzó los 99,9 millones de BEP (barriles equivalentes de petróleo) en 2022, lo que representa un incremento del 5,7% respecto al año anterior. Los sectores más demandantes de energía en el país son el transporte, la industria y el sector residencial, este último emitió 3402,67 kt CO_2 eq en el 2022.

La huella de carbono es una medida que cuantifica el impacto de los gases de efecto invernadero (GEI) generados durante la producción, transporte, almacenamiento, uso y disposición final de productos y servicios (Valderrama et al., 2011). Al sintetizar los impactos causados en el medio ambiente, la huella de carbono es una herramienta importante para la adopción de estrategias que permitan alcanzar la sostenibilidad de la organización (Espíndola y Valderrama, 2012). Minx et al. (2009) refieren diversas aplicaciones de esta huella, como su cuantificación para naciones, sectores industriales o grupos de productos, cadenas de suministro, organizaciones, patrones de consumo y estilos de vida y, a nivel regional y local. La huella de carbono corresponde a la suma de emisiones y absorciones de GEI en un sistema productivo, expresada como CO_2 eq (ISO 14067, 2018). Se basa en una evaluación del ciclo de vida que utilizan como única categoría de impacto el cambio climático.

Farley y Nicolet (2023) analizaron la huella de CO_2 equivalente de la utilización de plásticos de un solo uso y la reutilización de artículos de vidrio o plástico en un laboratorio de investigación. Investigaron 4 artículos de un solo uso frecuentemente utilizados para análisis microbiológicos, que también son empleados en laboratorios ambientales (cajas Petri de 6cm, pipetas Pasteur, tubos cónicos de 50 ml y matraces de cultivo cónicos de 1L). En otro estudio se cuantificó la huella de carbono de un laboratorio analítico basado principalmente en el consumo eléctrico de

determinados instrumentos y en informes estadísticos habituales. En este estudio, los equipos tomados en cuenta fueron espectrofotómetros, equipos que son comunes en laboratorios ambientales (Nowak et al., 2023).

Respecto a la demanda de agua las Naciones Unidas (2023) refiere que su uso ha aumentado un 1% anual en los últimos 40 años, extrayendo 4000 km3/año en el 2018. En el sector industrial la demanda la lidera los procesos intensivos en agua que incluyen varios tipos de fabricación y producción de energía. Así mismo, la disponibilidad per cápita es otro aspecto importante, para el 2021 los recursos hídricos renovables per cápita para América Latina y el Caribe eran de 21144,38 m^3/hab (FAO, 2024). Entre 2000 y 2018 hubo una disminución del 20% de los recursos hídricos internos renovables per cápita en todo el mundo (Naciones Unidas, 2023). Los recursos hídricos renovables per cápita del Ecuador para el 2017 fueron de 26611 m^3/hab (Naciones Unidas, 2024) y el consumo per cápita para el 2021 se ubicó alrededor de 230 m^3 (INEC, 2022).

Un laboratorio ambiental se encuentra equipado con los medios necesarios para llevar a cabo ensayos y muestreos asociados a los mismos (ISO 17025:2018). Estos generalmente, realizan análisis en distintas matrices ambientales (aguas, suelos, aire ambiente, emisiones, acústica ambiental y gases de combustión). Todo laboratorio hace uso de recursos (insumos, reactivos), energía (uso de equipos) y agua (limpieza y ensayos). Hopkinson et al. (2011) refieren que los laboratorios consumen grandes cantidades de energía, entre tres y cuatro veces el precio de las oficinas por metro cuadrado ($64000 al año por una oficina típica de 5000 m^2). El consumo anual de energía en un edificio a nivel mundial es de 170 kWh/m^2 (Calixto y Huelsz, 2018) y señalan que la intensidad energética (kWh/m^2/año) en lugar de disminuir con el tiempo aumenta. Por otro lado, el agua se usa para actividades como el lavado de instrumentos, además de la que se incorpora como parte de los ensayos, que una vez utilizada se convierte en efluentes industriales.

La huella hídrica es un indicador multidimensional de la apropiación del agua dulce por parte de la humanidad en términos de volúmenes de agua consumidos y contaminados para producir los bienes y servicios que utilizamos (Esquivel y Salgado, 2020). Conocer la huella hídrica permite identificar para qué fines se consume y contamina el agua dulce limitada. Asimismo, identificar los procesos que dependen de este recurso, gestionarlo y proponer estrategias para reducir esta huella (WFN, 2023). La norma ISO 14046: 2014 se refiere a la huella hídrica como la

métrica o métricas (agua azul, verde y gris) utilizadas para cuantificar los posibles impactos ambientales sobre el agua.

No se han identificado estudios que cuantifiquen la huella hídrica en algún tipo de laboratorio; sin embargo, se verifica su aplicación en varios sectores, como es la producción de azafrán (Razmavaran et al., 2024), vasos de café comestibles (Anand, et al., 2024), bioplásticos (Menon, et al., 2024) y sistemas de generación de energía de combustión de biomasa (Zhu, et al., 2019), entre otros. Además, no se identificaron estudios que consideren la huella de carbono e hídrica en algún tipo de laboratorio, por lo cual el presente estudio es relevante al tomar en cuenta una mayor cantidad de recursos (agua, energía y envases) y el impacto de su manejo dentro de un laboratorio ambiental.

Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la huella de carbono y la huella hídrica como una estrategia de gestión de recursos (agua, energía y envases) en un laboratorio ambiental mediante la recopilación de información in situ. Se analizó el escenario base y se plantearon escenarios alternativos, tomando en cuenta estrategias de reducción simple y combinada de recursos. En base a los resultados de cada escenario y su comparación se identificaron instancias de mejora.

2. Materiales y Métodos

El presente estudio, analizó la huella de carbono y huella hídrica considerando distintas estrategias de gestión de recursos en un laboratorio de ensayos ambientales ubicado en Quito, Ecuador (S 0° 10' 47.561'' O 78° 29' 13.512''). El laboratorio realiza monitoreos de calidad de aire ambiente, ruido ambiental y emisiones en chimeneas, además realiza el muestreo y análisis en agua y suelo bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO/IEC 17025, por lo que está acreditado ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE).

2.1. Objetivo y alcance

El alcance de este estudio, fue analizar la huella de carbono e hídrica como estrategia de gestión de recursos en un laboratorio ambiental, empleando el análisis de ciclo de vida, para proponer estrategias de gestión de recursos acorde a los lineamientos técnicos. Para el presente estudio, sólo se tuvieron en cuenta las pruebas analíticas del agua. Se consideraron los análisis de muestras de agua natural y aguas residuales en 2022, ya que representaron el

91,3% del total de muestras analizadas durante ese año. El laboratorio está acreditado para realizar 53 ensayos o parámetros en aguas y el presente estudio abarca aquellos que son más frecuentes (17), lo cual representa el 32% del total (**Tabla 1**).

Tabla 1 Parámetros y su frecuencia de ingreso en el laboratorio

Parámetro	Nomenclatura	Número de muestras semanales
Temperatura	T	
Potencial de Hidrogeno	pH	
Conductividad	CE	> 20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO_5	
Demanda Química de Oxígeno	DQO	
Solidos Totales	ST	
Solidos Suspendidos	SS	
Tensoactivos	SAAM	
Aceites y Grasas	A&G	> 15
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	
Metales (Niquel, Plomo y Zinc)	Metales	
Coliformes Fecales	CF	
Nitritos	NO_2^-	
Nitratos	NO_3^-	< 10
Nitrógeno Amoniacal	NH_{4+}	

Los estándares de la Organización Internacional de Normalización ISO (ISO 14040:2006, ISO14044:2007) fueron la guía para el análisis de ciclo de vida.

2.2. Límites del sistema

Este estudio evaluó el impacto ambiental del proceso de análisis de muestras de agua en un laboratorio ambiental, con un enfoque *"cuna a la puerta"*, tomando en cuenta (i) la manufactura de los materiales - envases, (ii) la toma de la muestra in situ, (iii) el análisis de las muestras de agua, (iv) lavado de los materiales, y (v) auto clavado de los mismos (**Figura 1**). No se consideraron las huellas por el transporte de las materias primas/muestras de agua y la disposición final.

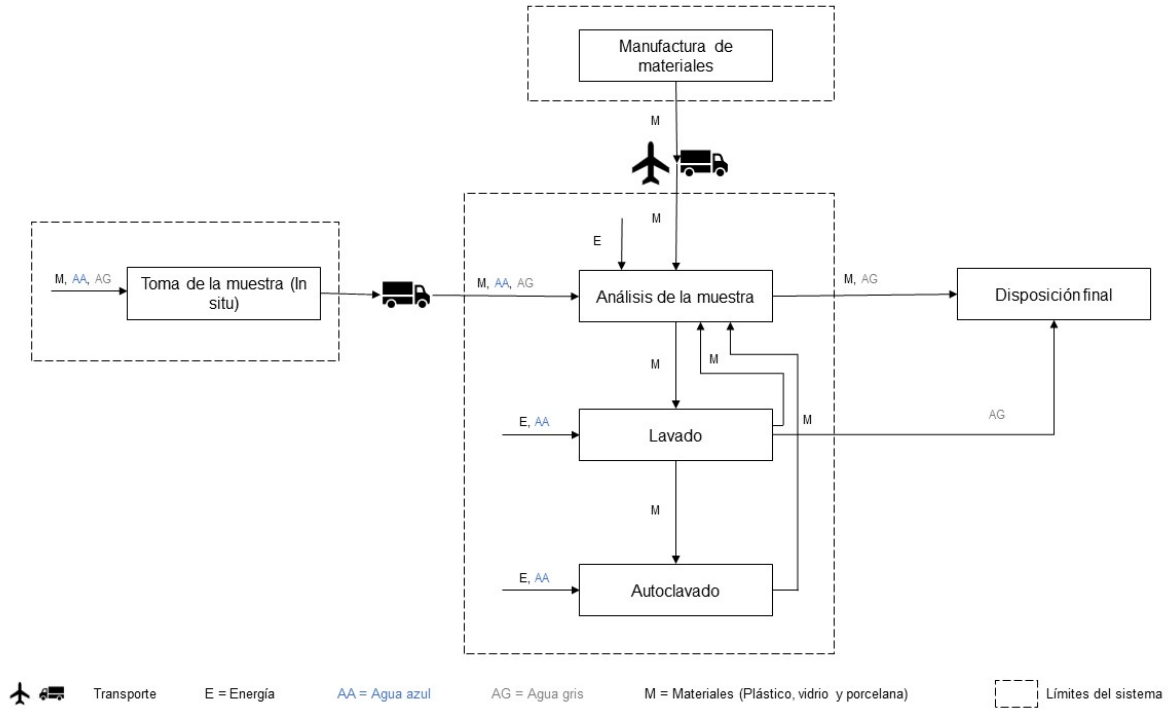

Figura 1 Límites del sistema para el análisis por unidad funcional (1 muestra de agua analizada)

2.3. Unidad funcional

La unidad funcional (UF) utilizada en este estudio fue 1 muestra de agua analizada (agua residual/ agua natural) por parámetro **(Tabla 1).** Todas las entradas (materiales, agua y energía) y salidas (materiales y agua) se evaluaron por UF.

2.4. Datos del inventario

Los datos del inventario fueron obtenidos del levantamiento in situ realizado en el 2023 a través de una bitácora de observación en la cual se recolectó la información de las entradas y salidas (**Tabla 2**).

Tabla 2 Datos de análisis de una muestra de agua considerados para el inventario

Entradas			Salidas	
Tipo	**Descripción**	**Unidad**	**Tipo**	**Unidad**
Envase	Nombre, material y capacidad	Número	Agua residual	Volumen
Reactivo o insumo	Nombre	Masa/ volumen	Residuo	Masa
Equipo	Nombre y voltaje	Tiempo de uso V	-	-
Agua	Muestra Entrada de agua	Volumen	-	-

2.5. Fuentes de información para el cálculo de las huellas

Para evaluar la huella de carbono, se consideró el consumo energético de la muestra de agua analizada. Se utilizó el factor de emisión ecuatoriano de electricidad en el punto de suministro para 2018, con un valor de 0,158 kg CO_2 eq por kWh de electricidad neta suministrada a consumidores finales (Ramírez et al., 2020).

Por otro lado, para la huella de carbono e hídrica de los materiales, se utilizó la información proporcionada por las declaraciones ambientales de producto (DAP), cuyo acceso está disponible en la página web de The International EPD System, así como las publicaciones científicas descritas en las tablas 3 y 4.

Tabla 3 Factor de emisión FE para la producción de materiales y su fuente de datos

Material	Producto	Alcance geográfico	Unidad Declarada	GWP	Unidad
Plástico	Resina PET	Global	1 kg de PET resina, incluido el embalaje de distribución	3.15E-01	kg CO_2 eq
	Resina en suspensión PVC	Global	1 ton de PVC resina Masa por unidad declarada 1000 kg	7.18E+02	kg CO_2 eq
	Resinas homopolímeras PP (todos los tipos)	Global	1 kg de polipropileno producido en forma de gránulos, incluido su embalaje	1.73E-01	kg CO_2 eq

Porcelana	Porcelana	República Checa	1 kg de vajilla de cerámica cocida	3.64	kg CO_2 eq
Vidrio	Vidrio fundido	Cuba	tonelada de vidrio fundido	0.12	ton CO_2 eq

Continuación

Procesos considerados	FE (g CO_2 eq /g material)	Referencias
Producción de pellets Core	0.315	EPD Resina PET de Novapet S.A. (2023)
Fabricación A3	0.718	EPD Resina en suspensión PVC (2022)
Producción de pellets Core	0.173	EPD Ecolen Resinas de polipropileno homopolímero (Todos los tipos) (2023)
Excavación de materias primas, transporte de materiales a la planta de producción, preparación de la mezcla, moldeado, esmaltado y cocción de la vasija de cerámica.	3.64	Železný et al. (2023)
Producción	0.12	Canciano et al. (2020)

Potencial de calentamiento global (GWP), Factor de emisión (EF), Polietileno tereftalato (PET), Cloruro de polivinilo (PVC), Polipropileno (PP), Declaración Ambiental de Producto (EPD)

Tabla 4 Huella hídrica para la producción de materiales y su fuente de datos

Material	Producto	Alcance geográfico	Unidad Declarada	HH	Unidad
Plastic	Resina PET	Global	1 kg de PET resina, incluido el embalaje de distribución	1.60E-03	m^3
	Resina en suspensión PVC	Global	1 ton de PVC resina Masa por unidad declarada 1000 kg	4.44	m^3
	Resinas homopolímeras PP (todos los tipos)	Global	1 kg de polipropileno producido en forma de gránulos, incluido su embalaje	1.22E-03	m^3

Porcelana	Porcelana	República Checa	1 kg de vajilla de cerámica cocida	4.00E-01	m^3 equivalente mundial
Vidrio	Vidrio flotado sódico-cálcico	Global	1 kilogramo de producto final	1305.89	l

Continuación

Process considered	HH (m^3/g)	References
Producción de pellets Core	1.60E-06	EPD Resina PET de Novapet S.A. (2023)
Fabricación A3	4.44E-06	EPD Resina en suspensión PVC (2022)
Producción de pellets Core	1.22E-06	EPD Ecolen Resinas de polipropileno homopolímero (Todos los tipos) (2023)
Excavación de materias primas, transporte de materiales a la planta de producción, preparación de la mezcla, moldeado, esmaltado y cocción de la vasija de cerámica.	4.00E-04	Železný et al. (2023)
Extracción y tratamiento de materias primas, fusión, recocido y corte	1.30589E-03	Gerbens et al. (2018)

Huella hídrica (HH), Polietileno tereftalato (PET), Cloruro de polivinilo (PVC), Polipropileno (PP), Declaración Ambiental de Producto (EPD)

2.6. Escenarios

Se propuso el escenario base y cuatro escenarios. Estos escenarios consideraban diferentes estrategias de gestión de recursos (energía y envases), que fueron validadas por el personal del laboratorio para no afectar a las directrices de acreditación. La **Figura 2** describe los escenarios estudiados.

El escenario base consideró (EB) el mix energético ecuatoriano, el consumo de agua, la energía (incluidas las cargas fantasmas) y los materiales (envases). Para el escenario uno E1 (Reducción del consumo energético) se eliminaron las cargas fantasmas, excepto en los

equipos que no pueden desconectarse por calibración o por estar conectados directamente a la red eléctrica. El escenario dos E2 (Matriz energética 100% renovable) se modelizó considerando que la energía eléctrica procede únicamente de fuentes renovables. En el escenario tres E3 (Reducción del consumo de materiales) se consideró la sustitución de ciertos materiales de vidrio por unos más pequeños.

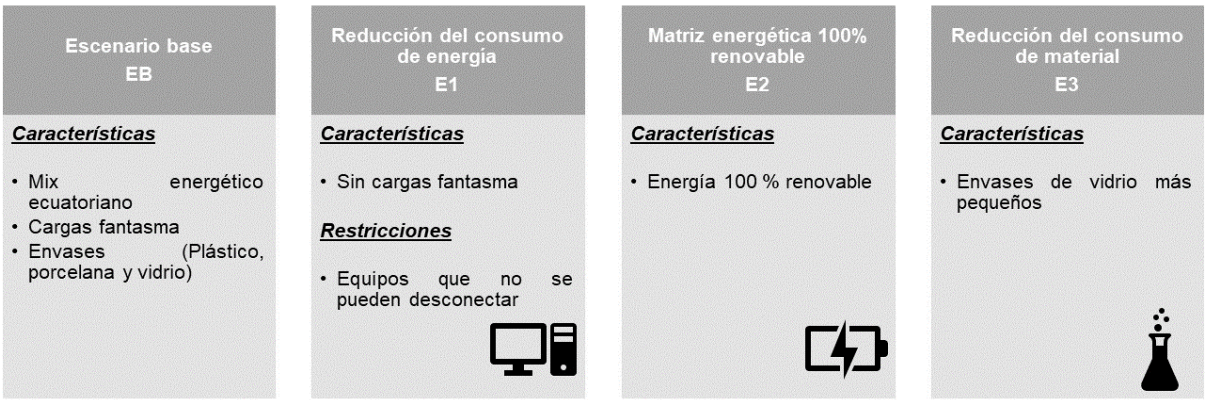

Figura 2 Escenarios de estudio

2.7. Análisis de la base de datos

Los escenarios 1 a 3 (Reducción del consumo energético, Matriz energética 100% renovable y Reducción del consumo de materiales) se propusieron una vez obtenidos los resultados de la huella de carbono e hídrica del escenario base. Todos los escenarios se modelaron a partir del escenario base, y la huella de carbono e hídrica se calcularon utilizando Microsoft Excel Standard (2019), los resultados fueron representados utilizando Origin Pro (2021b).

La huella de carbono se obtuvo multiplicando la energía y los recursos (envases) invertidos y consumidos por sus correspondientes factores de emisión descritos en la **Tabla 3** (Li et al., 2023).

$$HC_E = DEI_E \times FE_E$$

HC_E: Huella de carbono de la energía (kg CO_2 eq/muestra)

DEI_E: Dato de entrada del inventario – Consumo energético (kWh/ muestra)

FE_E: Factor de emisión de la energía (kg CO_2 eq/kWh)

$$HC_M = \frac{DEI_M \times FE_M}{1000}$$

$$DEI_M = N_e \times P_e$$

HC_M: Huella de carbono de los materiales (kg CO_2 eq/muestra)

DEI_M: Dato de entrada del inventario – Materiales (g material/ muestra)

N_e : Número de envases

P_e: Peso del envase (g del material PET, PVC, PP, Porcelana o Vidrio)

FE_M: Factor de emisión de los materiales (g CO_2 eq/g material)

La huella hídrica se obtuvo sumando las huellas directa e indirecta (Hoekstra et al., 2011). La huella directa corresponde a los tipos de agua consumida recogidos en el inventario. La huella indirecta se obtuvo multiplicando los recursos (envases) invertidos y consumidos por su correspondiente huella hídrica de producción, descrita en la **Tabla 4**.

$$HH = HHD + HHI$$

HH: Huella hídrica (m^3/muestra)

HHD: Huella hídrica directa (m^3/muestra)

HHI: Huella hídrica indirecta (m^3/muestra)

$$HHD = HA + HG$$

HA: Agua azul (m^3/muestra)

HG: Agua gris (m^3/muestra)

$$HA = m_{AN} + HI$$

m_{AN}: Muestra de agua natural (m^3/muestra)

HI: Agua de entrada (m^3/muestra)

$$HW = m_{AG} + HL$$

m_{AG}: Muestra de agua residual (m^3/muestra)

HL: Agua del lavado de los materiales (m^3/muestra)

$$HHI = DEI_M \times HH_M$$

$$DEI_M = N_e \times P_e$$

DEI_M: Dato de entrada del inventario - Materiales (g material/muestra)

N_e : Número de envases

P_e: Peso del envase (g del material PET, PVC, PP, Porcelana o Vidrio)

HH_M: Huella hídrica de los materiales (m^3/g material)

3. Resultados y discusión

3.1. Huella de carbono e hídrica del escenario base

En la Figura 3 se observan los resultados de la huella de carbono y huella hídrica del EB para cada parámetro analizado. En la figura, se consideran 15 parámetros o ensayos, agrupados mediante la condición de ensayos in situ (T, pH y CE) y de laboratorio (ST, CF, DBO_5, otros). La huella de carbono en los ensayos de laboratorio estudiados osciló entre 0.02 y 3.5 kg CO_2 eq/muestra, siendo más baja (<0.63) para los ensayos que se realizan in situ (T, pH y CE) y más alta (> 0.63) para los ensayos de tiempo prolongado (DBO_5, CF y ST) (**Figura 3a**). Así mismo, se pudo observar que la huella de carbono se atribuye en mayor porcentaje al uso de la

energía (82%). Es así, que los ensayos que requieren el empleo de equipos por un tiempo prolongado (> 28 horas) son los que ocasionan el mayor impacto.

La huella de carbono total para el EB fue 10.10 kg CO_2 eq/muestra, tomando en cuenta que al año el laboratorio recepta aproximadamente 208 muestras de agua para su análisis, la huella de carbono anual del laboratorio corresponde a 2100.7 kg CO_2 eq. La cual resultó ser un 88% menor a la reportada por Nowak et al. (2023), que estudiaron diferentes técnicas de separación en un laboratorio analítico y obtuvieron como resultado que el mismo emite 17615 kg CO_2 eq al año.

Respecto a la huella hídrica, esta medición tomó valores entre 0.0002 a 2.03 m^3/muestra y al igual que para la huella de carbono, los valores más bajos (<0.73) se dieron en los ensayos que se realizan in situ (T, pH y CE); mientras que, los valores más altos (> 0.73) se identificaron en los ensayos de CF, SS y A&G AN (**Figura 3b**). El mayor aporte a la huella hídrica corresponde a la huella hídrica indirecta con el 96.7%, atribuida a la cantidad de agua requerida para la fabricación de los envases (materiales). Los ensayos CF y SS presentaron los valores más altos de la huella hídrica indirecta con 1.77 y 1.72 m^3/muestra respectivamente, ya que para estos ensayos se utiliza una mayor cantidad en peso de materiales (envases) (**Figura 3d**). Mientras que, la huella hídrica directa representa el 3.3% de la huella hídrica total, siendo más alta en los ensayos CF, TPH y A&G AN con 0.26, 0.02 y 0.02 m^3/ensayo respectivamente. Esto

ya que para los ensayos TPH y A&G AN se requieren 0.0005 m^3 entre la muestra y agua destilada (agua de entrada), y para el parámetro CF se rquieren 0.26 m^3 de agua para el lavado de los envases utilizados (**Figura 3c**).

La huella hídrica total para el EB fue 11.76 m^3/muestra y 2446.08 m^3 anuales para el laboratorio, que en magnitud podría ser comparada con la huella hídrica reportada por Mekonnen y Gerbens (2020) para la producción de 1kg de carne de res (1500 m3/kg).

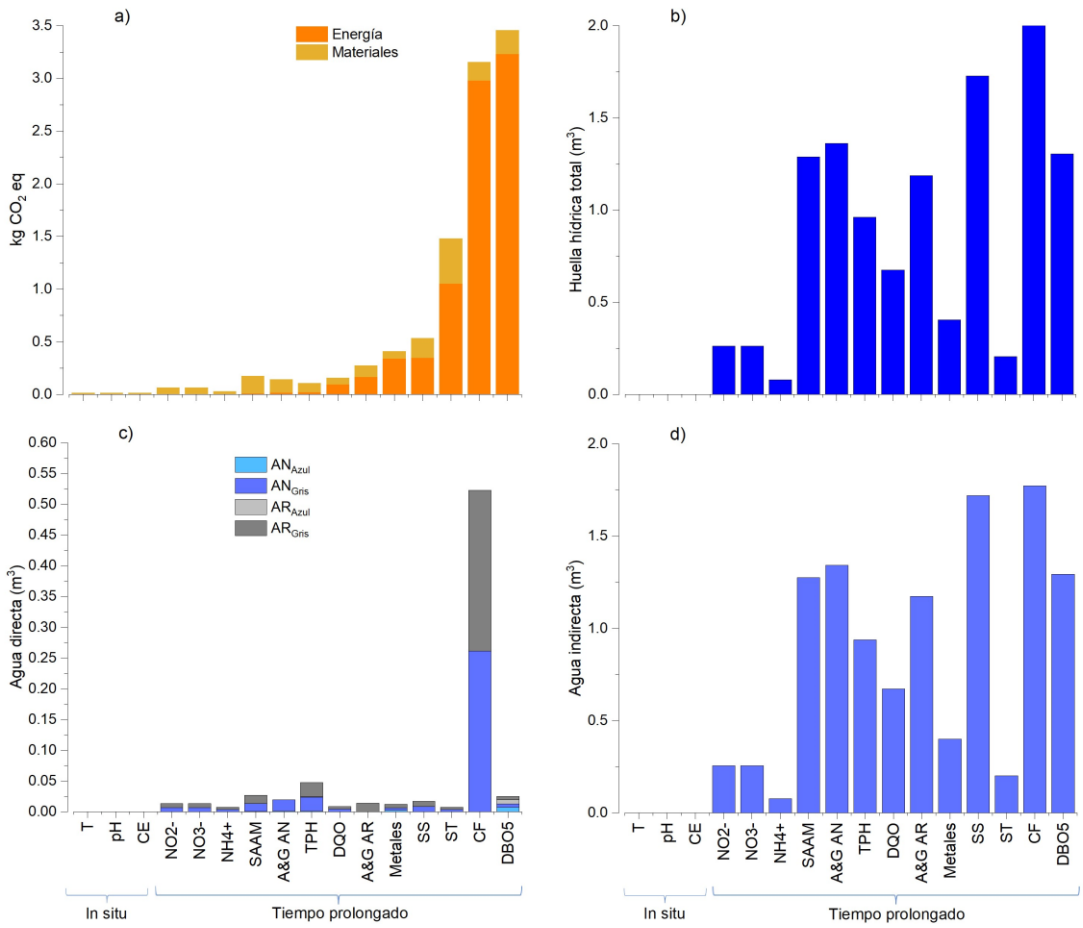

Figura 3 Resultados del escenario base EB

3.2. Huella de carbono e hídrica del escenario base

La huella de carbono para el E1 en los ensayos de laboratorio estudiados tomó valores desde 0.02 hasta 3.04 kg CO_2 eq/muestra, disminuyendo el valor máximo en 0.46 kg CO_2 eq/muestra (12%) respecto al EB. La huella de carbono se atribuyó en mayor porcentaje al uso de la energía (80.8%) (**Figura 4a**). Respecto al E2 la huella de carbono varió desde 0.02 a 0.51 kg CO_2 eq/muestra, disminuyendo su máximo en 2.99 kg CO_2 eq/muestra (85%) respecto al EB. En este escenario se observó que la mayor contribución a la huella de carbono corresponde a los materiales con el 73%, siendo los ensayos que utilizan una mayor cantidad en peso de materiales (envases) los que presentaron las huellas de carbono más altas (**Figura 5a).** Finalmente, en el E3 la huella de carbono tomó valores desde 0.02 y 3.46 kg CO_2 eq/muestra, sin registrar una disminución de su valor máximo respecto al EB (**Figura 6a**). De la misma forma que en el EB, para este caso la huella de carbono se atribuye en mayor porcentaje al uso de la energía (82.5%).

Los resultados obtenidos indican que la huella de carbono depende directamente del consumo energético de los equipos en cada ensayo. Es así que los ensayos DBO_5, CF y ST presentan los valores más altos (DBO_5: 0.49 a 3.46 kg CO_2 eq/muestra, CF: 0.42 a 3.15 kg CO_2 eq/muestra y ST: 0.51 a 1.48 kg CO_2 eq/muestra). Atribuido al uso de equipos como la incubadora (15.84 kWh) y la estufa (6.16 kWh) por tiempos prolongados que van de 28 horas a 6 días. Nowak et al. (2023) encontraron que las técnicas de medición con mayor consumo energético en un laboratorio analítico presentaron las huellas de carbono más altas (6858 kg CO_2 eq en un año de trabajo constante para la técnica CE-MS electroforesis capilar - espectrometría de masas).

Respecto a la huella de carbono de los materiales, los ensayos ST (0.43 kg CO_2 eq/muestra), DBO_5 (0.22 kg CO_2 eq/muestra), SS (0.18 kg CO_2 eq/muestra) y CF (0.17 kg CO_2 eq/muestra) presentaron los valores más altos. Para el caso de los ST la mayor contribución a la huella es por los envases de porcelana (0.39 kg CO_2 eq/muestra - 90.6%) y para el resto de ensayos es debido al material de vidrio (DBO_5 :0.12 kg CO_2 eq/muestra - 53%, SS:0.16 kg CO_2 eq/muestra - 86% y CF:0.16 kg CO_2 eq/muestra - 93.3%). Al observar los factores de emisión por la producción de estos materiales (**Tabla 3**), se evidencia que el mayor valor es para la porcelana (3.64 g CO_2 eq/g de vajilla de cerámica cocida) y el menor para el vidrio (0.12 gCO_2 eq/g de vidrio fundido). Sin embargo, aunque el vidrio tenga un menor impacto es un material predominante en los envases utilizados para los ensayos, lo que lo hace relevante respecto a la huella de carbono total.

Por otro lado, la huella hídrica tomó los mismos valores en todos los escenarios modelados (0.0002 a 2.03 m^3/muestra), si bien en el E3 la huella hídrica no varió respecto a su valor máximo y mínimo, disminuyó en los ensayos SAAM, A&G AR, A&G AN y TPH (**Figura 4b, Figura 5b y Figura 6b**). Esto debido a la reducción de la huella hídrica indirecta (reducción en peso de los envases - materiales) en 14.6, 8, 13.9 y 19.8 % respectivamente en los ensayos antes mencionados.

Al igual que en el EB el mayor aporte a esta huella corresponde a la huella hídrica indirecta con el 96.7% (E1 y E2) y el 96.6% (E3), siendo los valores más elevados los registrados para que los ensayos CF (1.77 m^3/muestra) y SS (1.72 m^3/muestra). El vidrio es el material con la mayor huella hídrica, siendo 1.30589E-03 m^3/g de vidrio (**Tabla 4**), por lo cual estos valores se deben a que en estos predominan en peso los materiales de vidrio (**Figura 4d, Figura 5d y Figura 6d**).

La huella hídrica directa al igual que para el EB representó el 3.3% (E1 y E2) de la huella hídrica total, siendo más alta en los ensayos CF (0.26 m^3/muestra), TPH (0.024 m^3/muestra) y A&G AN (0.019 m^3/muestra), debido a la cantidad de muestra, agua destilada y agua para lavado que se requieren (**Figura 4c y Figura 5c**). En el E3 la huella hídrica directa representó el 3.4% de la huella hídrica total, la reducción en peso de los envases - materiales permitió reducir esta huella en los ensayos A&G AN y TPH en 2.6 y 2.1% respectivamente, pasando de requerir 0.0005 m^3/muestra entre la muestra y agua destilada a 0.00025 m^3/muestra.

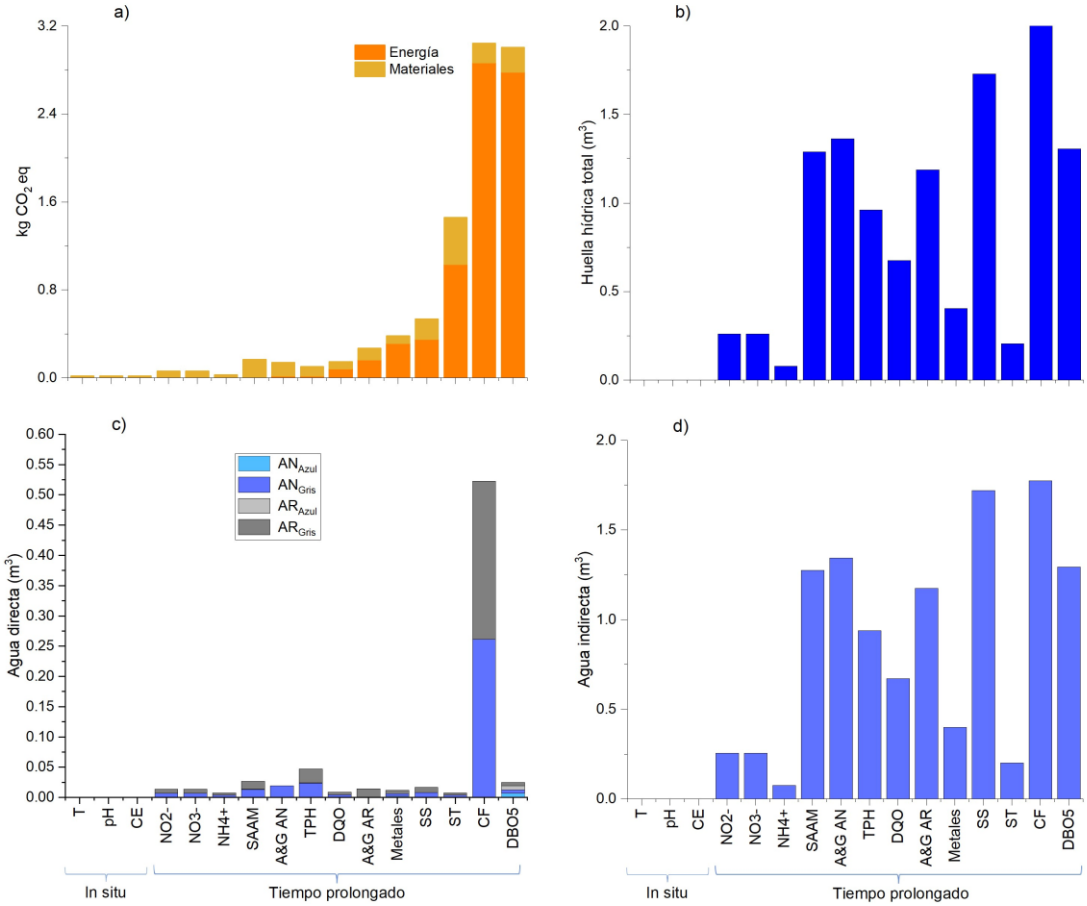

Figura 4 Resultados del escenario Reducción del consumo de energía E1

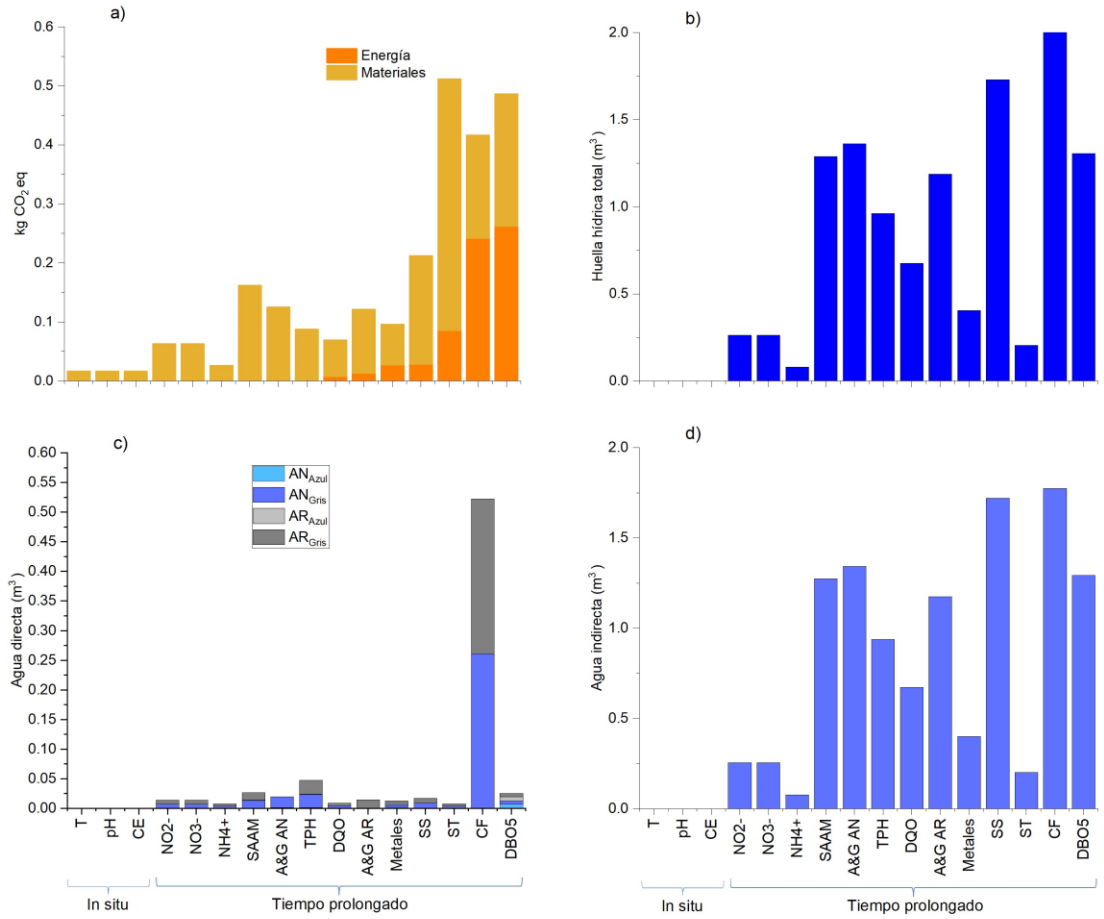

Figura 5 Resultados del escenario Matriz energética 100% renovable E2

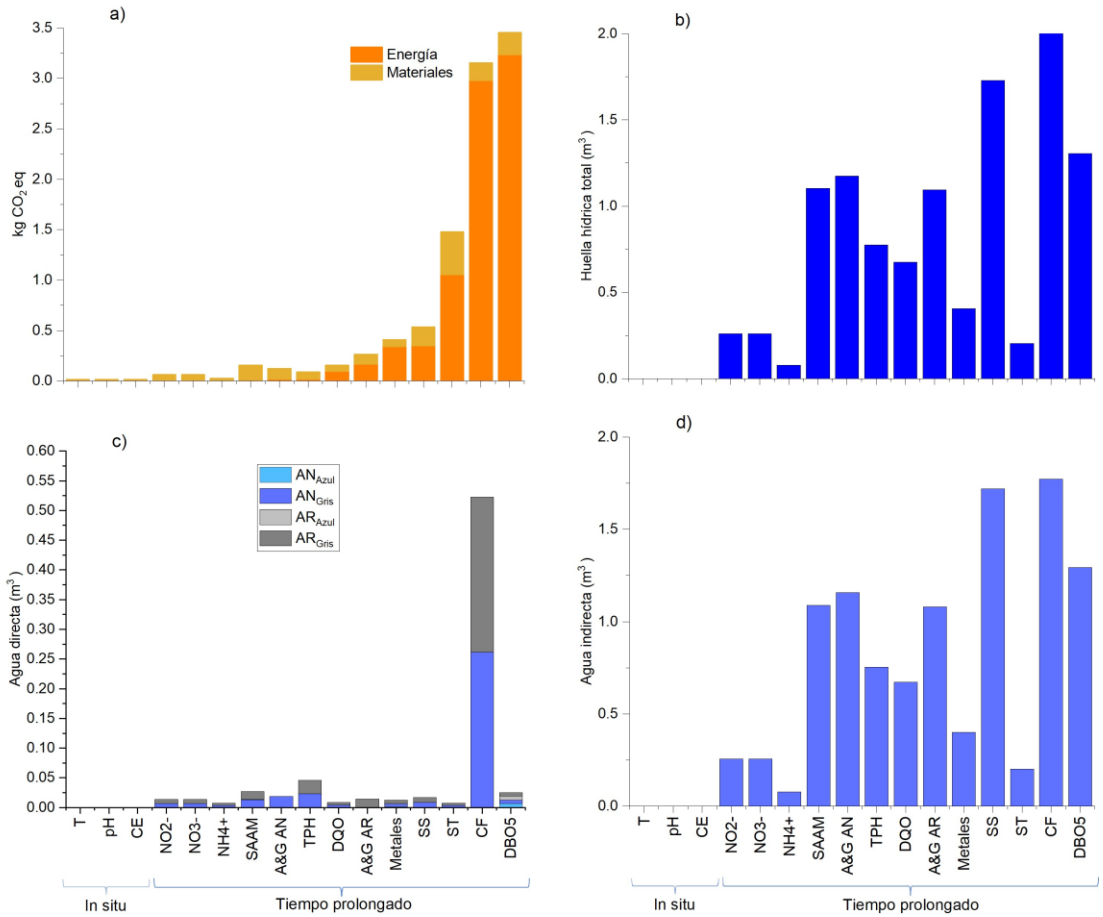

Figura 6 Resultados del escenario Reducción del consumo de materiales E3

3.3. Análisis comparativo de las huellas y los costos de los escenarios modelados

La huella de carbono total para los ensayos estudiados tuvo el siguiente comportamiento EB>E3>E1>E2 con valores de 10.10, 10.04, 9.45 y 2.49 kg CO_2 eq/muestra respectivamente. En todos los escenarios la huella de carbono estuvo principalmente atribuida al uso de la energía, excepto en el E2 (EB:82%, E1:80.8%, E2:27% y E3:82,5%). Las estrategias orientadas al recurso energético (E1 y E2) mostraron una disminución del 7.8 y 91.9 % de la huella de carbono de la energía y del 6.4 y 75.4% de la huella de carbono total. Por su parte, la estrategia de manejo de los envases (E3) redujo en un 3.3% la huella de carbono de los materiales y 0.6% la huella de carbono total.

Nowak et al. (2023) plantearon que una de las estrategias para reducir las emisiones del laboratorio objeto de estudio era la transformación energética. Lo anteriormente mencionado se ha corroborado en el presente estudio, ya que al tomar en cuenta que el 100% de la energía consumida en el laboratorio proviene únicamente de las energías renovables (E2) se ha reducido la huella de carbono en un 75.4%.

Al hablar de la huella hídrica total vemos el siguiente comportamiento EB=E1=E2>E3 con valores de 11.76 y 11.10 m^3 respectivamente. En todos los escenarios su mayor aporte corresponde a la huella hídrica indirecta (producción de los materiales) con el 96.6%. Unicamente en el E3 se tuvo una reducción de esta huella, disminuyendo 0.3% la huella hídrica directa, 5.7% la huella hídrica indirecta y 5.5% de la huella hídrica total.

El estudio realizado muestra que la estrategia de gestión de residuos (agua, energía y envases) que permite disminuir el impacto del laboratorio ambiental corresponde a la transición hacia una matriz energética renovable (E2). Carillo (2024) refiere que la eficiencia energética y conservación del agua son áreas de evaluación y mejora en prácticas de laboratorio, hablando incluso de beneficio económicos por el ahorro en costos de energía.

En la **Tabla 5** se observa el análisis comparativo de las huellas y los costos respecto al consumo de energía y agua de los escenarios modelados. Al hablar del consumo de energía se evidencia que la eliminación del consumo fantasma (E1) permite disminuir el costo de la energía en 7.8%, pasando de $5.08 a $4.68 USD/muestra. Por otra parte, el reemplazo de envases por unos de menor tamaño (E3) permite reducir el costo del consumo de agua en 0.3%, pasando de $0.2787 a $0.2780 USD/muestra. Si bien el E2 no representa una reducción en los costos de energía del laboratorio, ya que el consumo energético no varía, se trata de una estrategia que reduce de manera significativa la huella de carbono, al utilizar únicamente energías renovables.

Tabla 5 Análisis comparativo de escenarios modelizados por muestra

Escenario	Huella de carbono total (kg CO_2 eq)	Porcentaje de disminución (%)	Consumo energético (kWh)	Costo (USD $)	Porcentaje de disminución (%)
EB	10.10	-	52.24	5.08	-
E1	9.45	6.4	48.16	4.68	7.8
E2	2.49	75.4	52.24	5.08	-
E3	10.04	0.6	52.24	5.08	-

Continuación

Huella hídrica total (m^3)	Porcentaje de disminución (%)	Huella hídrica directa (m^3)	Costo (USD $)	Porcentaje de disminución (%)
11.76	-	0.384	0.2787	-
11.76	-	0.384	0.2787	-
11.76	-	0.384	0.2787	-
11.10	5.5	0.383	0.2780	0.3

Carillo (2024) refiere que el programa Green labs de la universidad de Harvard demostró que apagar las campanas de extracción cuando no se utilizan permite ahorrar $250000 USD anuales en costos de energía. Para el presente estudio esta práctica (E1) representa un ahorro de $83.2 USD anuales y 134.24 kg CO_2 eq menos emitidos al ambiente. El E2 permitiría reducir las emisiones del laboratorio de 2100.67 a 517.68 kg CO_2 eq al año (1582,98 kg CO_2 eq menos). Para el E3 el ahorro anual en costos y volumen de agua sería de $0.15 USD anuales y 0.208$m^3$ respectivamente.

4. Conclusión

La huella de carbono del laboratorio ambiental es de 10.10 kg CO_2 eq/muestra de la cual el 82% es atribuida al uso de la energía; mientras que, el 18% es atribuido a los materiales. Por su parte la huella hídrica fue de 11.76 m3/muestra, siendo el 96.7% correspondiente a la huella hídrica indirecta y el 3.3% restante a la huella hídrica directa.

Se propusieron tres escenarios alternativos que tomaban en cuenta diferentes estrategias de gestión de energía, agua y envases. Contar con una matriz energética 100% renovable (E2) es la estrategia que permite mejorar el desempeño ambiental del laboratorio ya que representa una reducción del 75% de la huella de carbono total y un 91.9% de la huella de carbono debido a la energía.

La reducción del consumo de energía (E1) resulta ser la mejor estrategia cuando se habla de costos, ya que permite reducir los costos en energía en un 7.8% en cada muestra analizada y $83.2 USD anualmente. Sin embargo, esta estrategia sólo reduce la huella de carbono en 134.24 kg CO_2 eq por año. Los beneficios económicos y ambientales del E1 resultan ser bajos si los comparamos con la reducción del impacto ambiental (huella de carbono) que supone el E2. Si bien no hay un beneficio económico aparente ya que el consumo energético es el mismo, este escenario le permite al laboratorio ambiental dejar de emitir 1582.98 kg CO_2 eq por año (12 veces menos respecto al E1).

Referencias

[1] Anand, K., Arce, A. M., Bishop, G., Styles, D., & Fitzpatrick, C. (2024). A tasty solution to packaging waste? Life cycle assessment of edible coffee cups. *Resources, Conservation and Recycling*, *201*, 107320.

[2] Calixto, V., and Huelsz, G. (2018). Energy consumption in buildings in Mexico. *Legado de Arquitectura y Diseño Research*, (24), 40-47.

[3] Canciano, J., Reinosa, M., Hernández, A., Núñez, M., y Ramírez, L. (2020). Estimación de la huella de carbono en la producción de vidrio en Cuba. *Minería y Geología, 36*(4), 428-440.

[4] Carrillo, P. (2024). Clean your own house first: Integrating sustainability into microbiology labs. *FEMS Microbiology Ecology*, *100*(7).

[5] Ministerio de Energía y Minas de Ecuador (2022). Balance Energético Nacional 2022. Disponible en: https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/capitulo1.pdf

[6] Instituto de la Energía (2024). Statistical Review of World Energy. Disponible en: https://www.energyinst.org/statistical-review

[7] EPD Resina PET de Novapet S.A. (2023). Disponible en: https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/900ba84b-3d42-45fc-aaf9-08db4497f421/Data

[8] EPD Resina en suspensión PVC (2022). Disponible en: https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/3847f9cc-385e-4495-9b4b-08da3d5507cb/Data

[9] EPD Ecolen Resinas de polipropileno homopolímero (Todos los tipos) (2023). Disponible en: https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/eb47e6c7-329e-46cf-1136-08dbca69748b/Data

[10] Espíndola, C., and Valderrama, J. O. (2012). Carbon footprint. Part 1: concepts, estimation methods and methodological complexities. *Information technology.*, *23*(1), 163-176.

[11] Esquivel, A., y Salgado, M. (2020). Huella hídrica de once productos de origen animal de México y Estados Unidos. Disponible en: https://ru.iiec.unam.mx/5116/1/4-063-Esquivel-Salgado.pdf

[12] FAO (2024). AQUASTAT Dissemination System. Disponible en: https://data.apps.fao.org/aquastat/?lang=en

[13] Farley, M y Nicolet, B (2023). Re-use of laboratory utensils reduces CO2 equivalent footprint and running costs. *PLO S ONE 18*(4): e0283697. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283697

[14] Gerbens, P. W., Hoekstra, A. Y., & Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement, and glass. *Water resources and industry*, *19*, 1-12.

[15] Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. & Mekonnen, M.M. (2011) The Water Footprint Assessment Manual.

[16] Hopkinson, L., James, P., Lenegan, N., McGrath, T. y Tait, M. (2011). Energy Consumption of University Laboratories: Detailed Results from S-Lab Audits. Available at: https://www.slideshare.net/LisaHopkinson/slab-energy-audits-of-he-labs-final-v15-4-7-11

[17] INEC (2022). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Agua_potable_alcantarrillado_2021/PRESENTACION%20APA%202021_V7%20(Rev.%20Dicos).pdf

[18] ISO 14040: 2006. Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia. Disponible en: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es

[19] ISO 14044: 2006. Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices. Disponible en: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es

[20] ISO 14046: 2014. Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices. Disponible en: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es

[21] ISO 14067: 2018. Gases de efecto invernadero — Huella de carbono de productos — Requisitos y directrices para cuantificación. Disponible en: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es

[22] ISO 17025:2018. Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración general.

[23] Li, Q., Duan, H., Liu, G., Xie, M., Lei, G., Cheng, J., & Dai, T. (2023). Optimizing China's onshore wind farm layout crucial for carbon neutrality. *Environmental Impact Assessment Review*, *101*, 107159.

[24] Menon, V., Kaur, M., Prasad, B., Khatra, H., Sharma, S., & Gupta, S. (2024). Unintended use of bioplastic: carbon, land, and water footprints. In *Bioplastics for Sustainability* (pp. 113-125). Elsevier.

[25] Mekonnen, M., & Gerbens, W. (2020). The water footprint of global food production. *Water, 12(10)*, 2696.

[26] Minx, J., Wiedmann, T. and 14 other authors. (2009). Input-output analysis and carbon footprinting: An overview of applications", *Economic Systems Research, 21*(3),187-216

[27] Nowak, P., Bis, A., Rusin, M., y Woźniakiewicz, M. (2023). Carbon footprint of the analytical laboratory and the three-dimensional approach to its reduction. *Green Analytical Chemistry*, *4* (2023) 100051. https://doi.org/10.1016/j.greeac.2023.100051

[28] Ramirez, A. D., Boero, A., Rivela, B., Melendres, A. M., Espinoza, S., y Salas, D. A. (2020). Life cycle methods to analyze the environmental sustainability of electricity generation in Ecuador: is decarbonization the right path?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134*, 110373.

[29] Razmavaran, M. H., Sepaskhah, A. R., & Ahmadi, S. H. (2024). Water footprint and production of rain-fed saffron under different planting methods with ridge plastic mulch and pre-flowering irrigation in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, *291*, 108632.

[30] Naciones Unidas (2024). Ecuador. Disponible en: https://sdg6data.org/es/country-or-area/Ecuador

[31] PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2023). Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). Nairobi. Disponible en: https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43922

[32] Naciones Unidas (2023). Informe nacional de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2023. Alianzas y cooperación por el agua. UNESCO. Paris. Disponible en: https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789233002128/read

[33] Valderrama, J., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Carbon Footprint, a Concept that cannot be Absent in Engineering and Science Courses. *University Education, 4*(3), 3-12.

[34] WFN (2023). What is a water footprint?. Disponible en: https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/what-is-a-water-footprint/

[35] Železný, A., Kulhánek, J., Pešta, J., & Kočí, V. (2023). LCA Case Study of Ceramic Tableware: Ecodesign Aspects of Ceramics Production from Ancient Technology to Present Factory. *Sustainability, 15*(11),9097.

[36] Zhu, Y., Liang, J., Yang, Q., Zhou, H., y Peng, K. (2019). Water use of a biomass direct-combustion power generation system in China: A combination of life cycle assessment and water footprint analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *115*, 109396. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109396

Anexos
Anexo A. Bitácoras

Bitácora de observación Huellas de carbono y de agua en un laboratorio ambiental: estrategias de gestión del agua, la energía y los envases																
Fecha	**Hora**	**Tipo de análisis (in situ o laboratorio)**	**Parámetro**	**Entradas**												
				Insumo de laboratorio				**Cantidad de insumo requerido (unidad, g, Minutos de funcionamiento, lt)**								**Observación**
				envase	**reactivo**	**equipo**	**agua**	**Envase**		**Reactivo ó insumo**		**Equipo**		**Tipo de Agua**		
								Tipo	**#**	**Tipo**	**g/ lt**	**Tipo**	**Tiempo de uso (min)**	**Tipo**	**Lt/ min**	
				X	X	X	X					Voltaje del equipo		Agua azul (limpia)		
														Agua de lavado (min)*		
10/7/2023	16:00	Laboratorio	Sólidos Totales	X		X	X	Cápsula porcelana	1			Estufa 220V	2 H (x2) Taraje 12H (x2) Ensayo	Agua gris - muestra	100 ml	Estufa a 104°C
				X		X		Probeta de vidrio 100 ml	1			Balanza 110V	1 min (x2) Taraje 1 min (x2) Pfinal			
				X				Evase de PVC plástico 500 ml	1							Frasco con la muestra
10/7/2023	16:00	Laboratorio	Sólidos Suspendidos	X	X	X	X	Vidrio reloj	1	Filtro de microfibra de vidrio	0.11338	Bomba de succión 110 V	5 min	Agua gris - muestra	100 ml	
				X		X		Probeta de vidrio 100 ml	1			Horno 220V	2 H (x2) Taraje 3H (x2) Ensayo			
				X				Sistema de filtración de vidrio	1							
				X				Evase de PVC plástico 500 ml	1							Frasco con la muestra

13/7/2023	15:38	Laboratorio	Tensoactivos	X	X	X	X	Probeta de vidrio 100 ml	1	Azul de metileno preparado	25ml	Estufa 220V	10 min	Agua azul	100ml	Toda la muestra 80 + 20
				X	X	X	X	Piceta plástico 500 ml	1	Solución de retrolavado	50ml	Hach 220V	2 min	Agua azul (destilada)	80ml	Dilución 1:5
				X	X		X	Balon de vidrio 100ml	1	cloroformo	40ml			Agua gris - muestra	20 ml	
				X	X		X	Embudo de separación vidrio 500 ml	2	Lana de vidrio (x2)	0.0645 g			Agua azul	100ml	Blanco
				X				Probeta de vidrio 10ml	1							
				X				Piceta de plástico 500ml	1							
				X				Probeta de vidrio 50ml	1							
				X				Probeta de vidrio 25ml	1							
				X				Celdad de vidrio 25ml	3							
																Frasco con la muestra
18/7/2023	11:45	Laboratorio	Aceites y grasas Agua residual Método gravimétrico	X	X	X	X	Frasco ámbar 500ml	1	Hexano líquido	30ml	Estufa 220V	2 H (x2) Taraje	Agua gris - muestra	250ml	Frasco con la muestra

				X	X	X		Probeta de vidrio 250ml	1	Papel filtro	8803g	Balanza 110V	1 min (x2) Taraje 3 min Pfinal			
				X	X	X		Embudo de separación vidrio 500 ml	1	Sulfato de sodio	10g	Centrifuga 120V 2000 rev	5 min			
				X		X		Balon de ebullición de vidrio 150ml tarado	1			Plancha 110V 85°C	45 min			
				X				Vial de vidrio 40ml	1							
				X				Embudo de vidrio 75mm	1							
19/7/2023	12:30	Laboratorio	Aceites y grasas Agua natural Método infrarrojo	X	X	X	X	Embudo de separación vidrio 500 ml	2	Solvente S316	100ml	Espectrofotómetro infrarrojo 220V	30min	Agua azul - Blanco - Agua destilada	500ml	
				X	X		X	Probeta de vidrio 25ml	1	Sulfato de sodio	6g			Agua azul - muestra	500ml	
				X	X			Balon volumetrico 50ml	2	Papel filtro	8803g x 2					
				X				Celda de cuarzo	1							
				X				Embudo de vidrio 75mm	1							
				X				Frasco ámbar 500ml	1							Frasco con la muestra
19/7/2023	12:30	Laboratorio	TPH Método infrarrojo	X	X	X	X	Embudo de separación vidrio 500 ml	2	Silica	6g	Espectrofotómetro infrarrojo 220V	30min	Agua azul - Blanco - Agua destilada	500ml	
				X	X		X	Probeta de vidrio 25ml	1	Papel filtro	8803g x 2			Agua azul - muestra	500ml	
				X	X			Balon volumetrico 50ml	2	Solvente S316	50 ml					
				X	X			Celda de cuarzo	1	Solvente	5 ml					

				X				Balon volumetrico 25ml	2							
27/7/2023	14:40	Laboratorio	Metales Técnica de flama	X	X	X		Evase de PVC plástico 500 ml	1	Ácido nitrico	20 gotas	Plancha 110V	8H			Frasco con la muestra
				X	X	X		Probeta de vidrio 100ml	1	Ácido clorhídrico	20 gotas	Sorvona 110V	8h	Agua azul o Agua gris - muestra	200ml	100 ml para digestar y 100 ml para aforar
				X	X	X		Vaso de precipitación 250ml	1	Ácido nitrico concentrado	5 ml	Espectrofotómetro de absorción atómica 220V	30 min			
				X	X	X		Balon volumetrico 100ml	1	Papel filtro	8803g	Sorvona 110V	24h			
				X	X			Punta para pipeta	1	Solvente ácido nítrico al 5%	90 ml					
				X	X			Frasco de plástico 100ml	1	Acetileno (gas)	0,12 m3					
					X					Óxido nitroso (gas)	0,014 m3					25ml de lo digestado se afora hasta 100ml
					X		X			1 Ni estándar	1 ml			Agua azul - Agua destilada	600ml	Para la curva de calibración
					X		X			0.5 ug/ml Pb estándar	0.5 ml			Agua azul - Agua destilada	600ml	
					X		X			0.5 Zn estándar	0.5 ml			Agua azul - Agua destilada	600ml	
1/8/2023	15:40	Laboratorio	DBO5		X	X	X			Cloruro ferrico	1ml 1ml	Incubación a 20°C 110V	6 días de 24H	Agua azul - Agua destilada	1l 1l	1ml de cada reactivo por cada litro

			Agua de dilución Día 0		X	X				Sulfato de Mg	1ml 1ml	Aireador 110V	15H			2 litros por muestra 1l inóculo 1l muestra
					X		X			Cloruro de Ca	1ml 1ml			Remojo Agua azul - Agua destilada	5l	Remojo de los winkler
					X					Solución tampón de fosfato	1ml 1ml					
										Tira de pH						
			Día 1	X		X	X	Balon 1l	1			Ultrasonido 220V	5min	Agua azul - muestra		La cantidad de muestra depende de la DQO
				X			X	Frasco plástico 1l	1					Agua gris - muestra		La cantidad de muestra depende de la DQO
				X			X	winkler de vidrio 300ml	3					Agua de dilución		Aforo a 1L con el agua de dilución
				X			X	Probeta 100ml	1					Agua gris	1ml	Inóculo y se afora a 1l
			Día 5	X	X	X		winkler de vidrio 300ml	3	Alcali yoduro	3ml	Bureta digital 2 pilas 1.5V	20min			
				X	X	X		Punta para pipeta	1	Sulfato manganoso	3ml	Plancha con agitación 110V	20min			
				X	X			Probeta 100ml	1	Ácido sulfurico concentrado	3ml					

				X	X			Punta para micropipeta de 1ml	1	Tiosulfato de sodio						
					X					Indicador de almidon	5 gotas x winkler					
2/8/2023	10:00	Laboratorio	DQO	X	X	X	X	Frasco ámbar 1l	1	Víales de DQO COD 20 - 1500mg/l	3 (3ml)	Termoreactor 220V	140min	Agua gris - muestra	2ml	Frasco con la muestra
					X	X				Víales de DQO COD 3 - 150 mg/l		Hach 220V	5min			
					X					Ácido sulfurico concentrado	4 gotas					
8/8/2023	11:45	Laboratorio	Nitritos	X	X	X	X	Evase de PVC plástico 1l	1	Papel filtro	8803g	Hach 220V	1min	Agua gris - muestra	20ml	Frasco con la muestra
				X	X			Vaso de precipitación 250ml	1	Papel film	2 pedazos			Agua destilada - blanco	20ml	
				X	X			Embudo 75ml	1	Sobre hach Nitriver	1					
				X				Celda de vidrio	2							
				X				Punta de plástico para micropipeta	1							
8/8/2023	11:45	Laboratorio	Nitratos	X	X	X	X	Evase de PVC plástico 1l	1	Papel filtro	8803g	Hach 220V	1min	Agua gris - muestra	20ml	Frasco con la muestra
				X	X			Vaso de precipitación 250ml	1	Papel film	2 pedazos			Agua destilada - blanco	20ml	
				X	X			Embudo 75ml	1	Sobre hach Nitraver	1					
				X				Celda de vidrio	2							

				X				Punta de plástico para micropipeta	1							
8/8/2023	12:00	Laboratorio	Nitrogeno amoniacal	X				Evase de PVC plástico 250ml	1							Frasco con la muestra - conservante H2SO4
				X	X	X	X	Punta de plástico para micropipeta	2	NaOh 5N	2 gotas (Depende del pH de la muestra)	Hach 220V	1min	Agua gris - muestra	10ml	Se neutraliza la muestra
					X		X	Celda de vidrio	2	Papel film	2 pedazos			Agua destilada - blanco	10ml	
					X					Salicilato de amonio	2 sobres					
					X					Cianuro de amoniaco	2 sobres					
8/8/2023	12:38	In situ	Temperatura	X		X	X	Jarra de plástico	1			Termometro digital Pila de reloj	1min	Agua gris - muestra	Se mide directamente en el cuerpo de aua o en una jarra	
							X							Agua azul - muestra	Se mide directamente en el cuerpo de aua o en una jarra	
8/8/2023	12:38	In situ	pH	X	X	X	X	Jarra de plástico	1	Soluciones buffer 4.01	10ml	Multiparámetro - Pila AA recargable de 1.5V	4 pilas 15 min	Agua azul - Agua destilada lavados	50ml	
					X		X			Soluciones buffer 7.01	10ml			Agua gris - muestra	10ml	
					X		X			Soluciones buffer 10.01	10ml			Agua azul - muestra	10ml	

8/8/2023	12:38	In situ	Conductividad	X	X	X	X	Jarra de plástico	1	Soluciones buffer 4.01	10ml	Multiparámetro - Pila AA recargable de 1.5V	4 pilas 15 min	Agua azul - Agua destilada lavados	50ml	
					X		X			Soluciones buffer 7.01	10ml			Agua gris - muestra	10ml	
					X		X			Soluciones buffer 10.01	10ml			Agua azul - muestra	10ml	
16/8/2023	11:40	Laboratorio	Coliformes fecales	X	X	X	X	Frascos estériles de plástico	2	Lauril sulfato	150ml	Autoclave 220V	30min	Agua gris - muestra	1ml	
				X		X		Matraz de vidrio 1000ml	1	GLP		Balanza 110V	1min			
				X		X		Tubos de ensayo 20ml	15			Agitador vortex 110V	15segundos			
				X		X		Tubos de ensayo 10ml	3			Incubadora 44.5°C 220V	24h mín 72h máx			
				X				Puntas para micropipeta 10ml	2							
				X				Puntas para micropipeta 1ml	En función de las diluciones							
				X				Frasco de vidrio	1							

				X				Campana de durgan (mini tubo de ensayo)	En función de los tubos							

Bitácora de observación Huellas de carbono y de agua en un laboratorio ambiental: estrategias de gestión del agua, la energía y los envases									
Fecha	Hora	Tipo de análisis (in situ o laboratorio)	Parámetro	Salidas					Observación
				Residuos líquidos		Residuos sólidos		Emisiones	
				Tipo de agua		Tipo de residuo		Tipo (reactivo)	
				Tipo	ml	Tipo	g ó #		
								Amoniaco, Acídos	
11/7/2023	16:00	Laboratorio	Sólidos Totales	Agua gris lavado cápsula	1738.15	Envase de plástico	1		
				Agua gris lavado probeta	1803.21	Sólidos	0.0179 g		
11/7/2023	16:00	Laboratorio	Sólidos Suspendidos	Agua gris lavado probeta	1803.21	Filtro	0.1143 g		
				Agua gris sistema de filtración	5151.00	Envase de plástico	1		
				Agua gris vidrio reloj	1803.21				
13/7/2023	15:38	Laboratorio	Tensoactivos	Agua gris - muestra	100ml	fibra de vidrio			
				Agua azul - muestra	100ml				
				Agua gris - fase cloroformica	40 ml				
				Agua gris lavado probeta	1803.21				
				Agua gris lavado Balon de vidrio	1460.24				
				Agua gris lavado Embudo de separación vidrio	3945.98				

				Agua gris lavado Probeta de vidrio 10ml	673.90				
				Agua gris lavado Celda de vidrio	5277.11				
18/7/2023	11:45	Laboratorio	Aceites y grasas Agua residual Método gravimétrico	Agua gris - muestra	250ml	Papel filtro + sulfato	12g		
				Frasco ámbar 500ml	4313.25				
				Probeta de vidrio 250ml	1987.95				
				Embudo de separación vidrio 500 ml	3510.04				
				Balon de ebullición de vidrio 150ml tarado	2412.85				
				Vial de vidrio 40ml	1024.90				
				Embudo de vidrio 75mm	606.43				
19/7/2023	12:30	Laboratorio	Aceites y grasas Agua natural Método infrarrojo	Solvente S-316	50ml	Papel filtro + sulfato	6.33 g		
				Solvente S-316	5ml				
				Embudo de separación vidrio 500 ml	7020.08				
				Probeta de vidrio 25ml	1280.32				

				Balon volumetrico 50ml	5087.55				
				Embudo de vidrio 75mm	606.43				
				Frasco ámbar 500ml	4313.25				
19/7/2023	12:30	Laboratorio	TPH Método infrarrojo	Solvente S-316	50ml	Papel filtro + silica	10.4 g		
				Solvente S-316	5ml				
				Embudo de separación vidrio 500 ml	7020.08				
				Probeta de vidrio 25ml	3478.71				
				Balon volumetrico 50ml	5087.55				
				Balon volumetrico 25ml	6957.43				
27/7/2023	14:40	Laboratorio	Metales Técnica de flama	Muestra disgestada		Papel filtro			solo se ocupa 200ml de la muestra lo demás se bota
				Probeta de vidrio 100ml	1803.21	Evase de PVC plástico 500 ml			
				Vaso de precipitación 250ml	836.95	Frasco de plástico 100ml			
				Balon volumetrico 100ml	1460.24				
1/8/2023	15:40	Laboratorio	DBO5	Balon 1l	1432.93				
				winkler de vidrio 300ml	0.45				
				Probeta 100ml	3606.43				
				Punta para micropipeta de 1ml	408.84				
2/8/2023	10:00	Laboratorio	DQO	Frasco ámbar 1l	4313.25				

8/8/2023	11:45	Laboratorio	Nitritos	Muestra	20 ml	Sobres de los reactivos	2		
				Blanco	20 ml	Papel film	2 pedazos		
				Vaso de precipitación 250ml	2441.89				
				Embudo 75mm	606.43				
				Celda de vidrio	3687.83				
8/8/2023	11:45	Laboratorio	Nitratos	Muestra	20 ml	Sobres de los reactivos	2		
				Blanco	20 ml	Papel film	2 pedazos		
				Vaso de precipitación 250ml	2441.89				
				Embudo 75mm	606.43				
				Celda de vidrio	3687.83				
8/8/2023	12:00	Laboratorio	Nitrógeno amoniacal	Muestra	10 ml	Sobres de los reactivos	4		
				Blanco	10 ml	Papel film	2 pedazos		
						Envase de PVC plástico 250ml	1		
				Punta de plástico para micropipeta	0.00				
				Celda de vidrio	3687.83				
8/8/2023	12:38	In situ	Temperatura	Muestra	Se mide directamente en el cuerpo de agua o en una jarra				
				Agua destilada lavados	10ml				
8/8/2023	12:38	In situ	pH	Agua destilada lavados	50ml				
				Muestra	10ml				
8/8/2023	12:38	In situ	Conductividad	Agua destilada lavados	50ml				
				Muestra	10ml				
16/8/2023	11:40	Laboratorio	Coliformes fecales	Tubos de ensayo 20ml	216867.47				
				Tubos de ensayo 10ml	43373.49				
				Puntas para micropipeta 10ml	1024.90				