

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS



**“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL MANEJO DE RESIDUOS
PELIGROSOS, EFLUENTES Y EMISIONES EN EL LABORATORIO
LASPAF DE LA UNALM”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

ANTONIO MIRES VALDEZ

LIMA - PERÚ

2019

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente tesis (Art. 24 -
Reglamento de Propiedad Intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL MANEJO DE RESIDUOS
PELIGROSOS, EFLUENTES Y EMISIONES EN EL LABORATORIO
LASPAF DE LA UNALM”

Presentada por:

ANTONIO MIRES VALDEZ

Tesis para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Lizardo ~~V~~isitación Figueroa
PRESIDENTE

Mg. Quím. ~~M~~ary Flor Césare Coral
MIEMBRO

Mg. Sc. Wilfredo Celestino Baldeón Quispe
MIEMBRO

Dra. Rosemary Vela Cardich
ASESORA

Ing. Lawrence Enrique Quiñuzco Ushñahua
Co Asesor

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Definiciones.....	5
2.2. Estudios previos.....	6
2.2.1. Estudios a nivel universitario.....	6
2.2.2. Estudios a nivel de laboratorio.....	7
2.3. Descripción de contaminantes.....	9
2.3.1. Dicromato de potasio y cromo total.....	9
2.3.2. Sulfato ferroso.....	10
2.3.3. Sulfato de cobre.....	11
2.3.4. Nitrógeno amoniacal.....	12
2.3.5. Ácido bórico y boro.....	13
2.3.6. Ácido nítrico y dióxido de nitrógeno.....	14
2.4. Marco legal.....	15
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1. Descripción del lugar.....	19
3.2. Elaboración de línea base.....	19
3.2.1. Identificación.....	19
3.2.2. Estimación.....	26
3.2.3. Cuantificación.....	27
3.3. Comparación de resultados con normativa vigente y detección de puntos críticos.....	40
3.4. Generación de propuestas para reducir, tratar y mejorar la gestión de: efluentes, residuos y emisiones.....	41

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Identificación de procesos del laboratorio LASPAF.....	42
4.2. Estimación de químicos utilizados en el LASPAF	44
4.3. Cuantificación de residuos peligrosos, emisiones y efluentes en el LASPAF	47
4.3.1. Residuos sólidos peligrosos	47
4.3.2. Emisiones atmosféricas	52
4.3.3. Efluentes.....	57
4.4. Propuestas para mejorar la gestión en el LASPAF	78
4.4.1. Materia orgánica en el suelo.....	79
4.4.2. Nitrógeno Kjeldahl.....	82
4.4.3. Textura de suelo	83
4.4.4. Metales pesados, micro y macro elementos	85
4.4.5. Resumen de propuestas	89
V. CONCLUSIONES	91
VI. RECOMENDACIONES.....	92
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
VIII. ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores Máximos Admisibles Anexo I.....	16
Tabla 2: Valores Máximos Admisibles Anexo II.....	17
Tabla 3: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aire Anexo I.....	18
Tabla 4: Resumen y descripción de los puntos de muestreo según cada matriz.....	24
Tabla 5: Coordenadas UTM WGS84 de puntos de muestreo en sólidos, efluentes y emisiones.....	25
Tabla 6: Lista de tipos de procedimientos analíticos que son realizados en el LASPAF y paquetes que son ofrecidos	26
Tabla 7: Lista de parámetros que se midieron por cada punto muestreado	36
Tabla 8: Número de muestras analizadas para los diferentes tipos de análisis realizados en el LASPAF durante el periodo 2013 - 2017.....	43
Tabla 9: Estimación de reactivos usados en un año para procesar muestras de suelo	45
Tabla 10: Estimación de reactivos usados en un año para procesar muestras de tejidos vegetales.....	46
Tabla 11: Coordenadas UTM de puntos de muestreo residuos sólidos (b1, b2 y b3).....	48
Tabla 12: Coordenadas UTM de puntos de muestreo de emisiones (c1, c2 y c3).	52
Tabla 13: Coordenadas UTM de puntos de muestreo de efluentes (a1, a2 y a3).....	57
Tabla 14: Volumen de efluente escurrido por día muestreado y por punto a1 y a3.....	62
Tabla 15: Puntos críticos de generación de sustancias peligrosas	78
Tabla 16: Propuestas para mejorar la gestión de las sustancias peligrosas.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Caja de alcantarillado con trampa de sedimentos colmatada.	20
Figura 2: Mezcla de restos de suelo y desmonte.....	21
Figura 3: Chimenea del punto c1 con <i>scrubber</i> en desuso.....	21
Figura 4: Almacenamiento de reactivos químicos.	22
Figura 5: Almacenamiento de envases vacíos.....	23
Figura 6: <i>Scrubber</i> Método Kjeldahl.	32
Figura 7: Buzón de alcantarilla (punto a2 y a3) e ilustración de método de muestreo.	35
Figura 8: Porcentaje de muestras procesadas entre el 2013 - 2017 por el LASPAF dividido por tipo de análisis.....	42
Figura 9: Mapa de ubicación de puntos de muestreo de residuos sólidos (b1, b2 y b3).	49
Figura 10: Valores de cromo total en muestras de residuos sólidos recolectadas en el punto b1, b2 y b3 comparados con el EPA 1311.....	50
Figura 11: Valores de plomo en muestras de residuos sólidos recolectadas en el punto b1, b2 y b3 comparados con el EPA 1311.....	51
Figura 12: Mapa de ubicación de puntos de muestreo de emisiones atmosféricas (c1, c2 y c3).	53
Figura 13: Variación horaria de las emisiones de NO ₂ en el punto c1.....	54
Figura 14: Variación durante 5 horas de las emisiones de NO ₂ en el punto c2.	55
Figura 15: Variación horarios de la calidad del aire en términos de NO ₂ datos medidos durante 1 hora y comparados con los ECA de aire.....	56
Figura 16: Mapa de ubicación de puntos de muestreo de efluentes (a1, a2 y a3).....	58
Figura 17: Variaciones diurnas del caudal de efluente para el punto a1 medido durante 3 días diferentes.	59
Figura 18: Variaciones diurnas del pH para el punto a1 medido durante 3 días diferentes valores comparados con VMA.	60
Figura 19: Variaciones diurnas de la conductividad eléctrica para el punto a1 medido durante 3 días diferentes valores comparados con VMI, escala logarítmica.....	61

Figura 20: Variaciones diurnas del caudal de efluente para el punto a3 medido durante 3 días diferentes.	62
Figura 21: Variaciones diurnas del pH para el punto a2/a3 medido durante 3 días diferentes valores comparados con VMA.....	63
Figura 22: Variaciones diurnas de la conductividad eléctrica para el punto a2/a3 medido durante 3 días diferentes valores comparados con VMI.....	64
Figura 23: Conductividad eléctrica para muestras compuestas y puntuales de los puntos a1, a2 y a3 recolectadas durante 3 días diferentes de muestreo comparado con los VMI.....	66
Figura 24: Valores de pH para muestras compuestas y puntuales de los puntos a1, a2 y a3 recolectadas durante 3 días diferentes de muestreo comparado con los VMA.....	67
Figura 25: Valores de sólidos suspendidos totales (SST) para muestras compuestas y puntuales de los puntos a1, a2 y a3 recolectadas durante 3 días diferentes de muestreo comparado con los VMA.	68
Figura 26: Sólidos sedimentables para la muestra puntual del punto a1 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.....	69
Figura 27: Boro en muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.....	70
Figura 28: Cromo total muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.	71
Figura 29: Valores de nitrógeno amoniacal muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.....	73
Figura 30: Valores de sulfatos muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.	74
Figura 31: Valores de cobre de muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.	76
Figura 32: Valores de plomo de muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.	77
Figura 33: Flujograma de método alternativo para determinar materia orgánica en el suelo. Tomado de Alemán y Guido 2016.	81
Figura 34: Probetas para determinar textura de suelo.....	84
Figura 35: Interior de <i>scrubber</i> (área 2).	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Esquema del LASPAF e identificación de tuberías.	100
Anexo 2: Esquema del área 1 del LASPAF y puntos de muestreo.	101
Anexo 3: Esquema del área 2 del LASPAF y puntos de muestreo.	102
Anexo 4: Metodología del LASPAF (Análisis de agua).	103
Anexo 5: Metodología del LASPAF (Análisis de tejido vegetal).	104
Anexo 6: Metodología del LASPAF (Análisis de suelo).	105
Anexo 7: Metodología del LASPAF (Análisis de materias orgánicas).	107
Anexo 8: Resultados de Laboratorio (Agua).	108
Anexo 9: Resultados de Laboratorio (Suelo).	110
Anexo 10: Resultados de Laboratorio (Sedimentos).	111
Anexo 11: Valores regulatorios EPA 1311 (TCLP Test).	112
Anexo 12: Estimación de Sólidos generados en medición de textura.	112
Anexo 13: Estimación de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ necesario para reducir cromo VI (Walkley & Black).	112
Anexo 14: Estimación de NaOH anual necesario para neutralizar Ácido Sulfúrico (Walkley & Black).	113
Anexo 15: Estimación de NaOH anual necesario para neutralizar vapor ácido (análisis tejido vegetal).	113
Anexo 16: Estimación de NaOH anual necesario para neutralizar vapor ácido (análisis suelo).	113

RESUMEN

Este trabajo de investigación ha sido realizado con el fin de proporcionar información y proponer mejoras para el manejo de los residuos sólidos peligrosos, efluentes y emisiones atmosféricas que son generados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Se revisó los métodos analíticos utilizados por el laboratorio y se realizó entrevistas a los trabajadores para identificar los posibles puntos de manejo inadecuado y contaminación. Una vez identificados los puntos de contaminación se procedió a tomar muestras de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos que son producidos por las actividades que se realizan en el LASPAF. Se determinaron los parámetros a ser analizados para cada muestra según las normativas peruanas vigentes. Los resultados obtenidos muestran una gestión inadecuada de las sustancias químicas en varios procedimientos analíticos, los de mayor preocupación son: (1) la determinación de materia orgánica en el suelo por el método de Walkley y Black, (2) la determinación de nitrógeno por el método Kjeldahl, (3) la determinación de textura de suelo por el método de Bouyoucos y la (4) la digestión ácida de las muestras para análisis de metales pesados, micro y macro elementos. El primero de estos métodos ha sido identificado como punto crítico por el vertimiento de dicromato de potasio, sulfatos y nitrógeno amoniacal en la alcantarilla y la generación de residuos sólidos peligrosos por acumulación de cromo. El segundo, por el vertimiento de ácido bórico y sulfato de cobre. El tercero, por el vertimiento de amplias cantidades de sólidos totales y sedimentables. El cuarto, por las emisiones de vapor ácido y dióxido de nitrógeno. Se han propuesto mejoras para cada uno de los cuatro puntos mencionados previamente, así como también algunas mejoras generales para la gestión del LASPAF.

Palabras claves: residuos peligrosos, manejo, sustancias químicas, laboratorio, dicromato de potasio, VMA.

ABSTRACT

The purpose of the following research paper has been to gather information and recommend ways to improve the management of hazardous solid waste, wastewater and atmospheric emissions, which are generated by the Laboratory of Soils, Plant and Fertilizers Analysis (LASPAF). The laboratory is part of the Faculty of Agronomy of the National Agrarian University - La Molina (UNALM). The analytical methods used by the laboratory were revised, alongside; unstructured interviews were carried out with the workers in order to detect possible points of mismanagement and contamination. Once these were identified, samples were taken from the sub products generated by the LASPAF (solid waste, wastewater and emission). The parameters analyzed for each sample were determined by the current Peruvian regulations in force. The results show an inadequate management of hazardous substances in many of the sampled points, the ones of major concern come from: (1) the determination of organic matter in soil by Walkley and Black method, (2) determination of nitrogen by Kjeldahl method, (3) determination of solid texture by Bouyoucos method and (4) the acid digestion for samples which then are analyzed for heavy metals, micro and macro nutrients. The first of these methods was identified as a critical point due to the discharge of potassium dichromate, sulfates and ammoniacal nitrogen in the sewage and the generation of hazardous solid waste due to the accumulation of chromium. The second, due to the discharge of boric acid and copper sulfate in the sewage. The third, due to the discharge of very high levels of total suspended solids and sedimentable solids in the sewage. The fourth, due to the emissions of acid vapor and nitrogen dioxide. A series of proposals has been made to improve each of these critical points as well as general management improvements for the LASPAF.

Keywords: hazardous solids, management, chemical substances, laboratory, potassium dichromate, VMA.

I. INTRODUCCIÓN

En 1981, la Comisión Nacional de Investigación de Los Estados Unidos (NRC, por sus siglas en inglés) redactó la guía: “*Prudent Practices in the Laboratory*”. La esperanza que tenían era la de estandarizar las exigencias de los laboratorios y de distinguir los estándares de seguridad promulgados por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) con las necesidades más específicas de los laboratorios de investigación; “la motivación original de redactar [esta guía] fue para proveer una referencia autoritativa del manejo y disposición de contaminantes a un nivel de laboratorio” (National Research Council, 1995). No obstante, algunas críticas persistieron acerca de la gestión de los residuos generados por los laboratorios; por ejemplo, el artículo publicado en 1991 en la revista *The Scientist*, titulado “*Disposición de residuos peligrosos: un problema de desperdicios para los laboratorios*” pone en evidencia las complicaciones de esta labor. “Mientras una planta industrial produce amplias cantidades de una docena o menos sustancias, un laboratorio académico típicamente produce cientos o miles de desperdicios diferentes, algunos en cantidades menores a unos gramos” (Andrews, 1991). El resultado de esta situación de baja cantidad pero diversa generación de residuos es que no siempre es rentable para los contratistas tratar o disponer estas sustancias de forma segura.

En el Perú se han tenido avances similares a los que han sido mencionados para el caso de Estados Unidos. Sin embargo, estos avances han sido mucho más generales en el manejo y disposición de los residuos de laboratorios. Dentro de las leyes que destacan se encuentran la Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314) y el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PLANRES 2016 - 2024) además de las leyes que regulan los Valores Máximos Permisibles (D.S. N° 010-2019-VIVIENDA), así como también los Estándares de Calidad Ambiental Aire y Agua, respectivamente (D.S. N° 003-2017-MINAM y D.S. N°004-2017-MINAM) y también los Límites Máximos Permisibles, que regulan las emisiones y vertimientos de diversos sectores productivos. No obstante, ninguna norma ha sido elaborada exclusivamente para la gestión de los residuos generados en los laboratorios.

En el año 2014, se fundó el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), esta institución es el “referente nacional de calidad -normalización técnica, acreditación y metrología ... mejorando la competitividad de las empresas, eficiencia del Estado y la protección de los ciudadanos y del medio ambiente” (INACAL, 2016). Persiste, sin embargo, un vacío en los laboratorios académicos del Perú ya que no siempre se han podido acoger a estas normas estandarizadas ni a la acreditación del INACAL.

La presente tesis se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la UNALM. El laboratorio fue “fundado en 1958, con la finalidad de realizar análisis físico-químico de suelos, químicos de aguas, análisis de niveles nutricionales en plantas y riqueza de fertilizantes y abonos orgánicos” (LASPAF-UNALM, 2017). Las muestras recibidas en el laboratorio tienen orígenes variados de todas las regiones del Perú, “entre sus clientes se encuentran agricultores, empresas agrícolas, entidades gubernamentales, ONGs, universidades e instituciones de investigación” (Ibíd., 2017).

El LASPAF es además reconocido por contar con “personal técnico experimentado y altamente capacitado y con equipos de última generación, garantizando rapidez, confiabilidad y eficiencia en los resultados” (Ibíd., 2017). Sin embargo, el LASPAF no se ha podido dar abasto para gestionar de forma adecuada los residuos, efluentes y emisiones que son generados; el principal problema de la gestión de los residuos, efluentes y emisiones es la falta de información que se tiene (García S. , 2018).

La causa primordial de este problema es el gran número de procedimientos que se realizan en el laboratorio; así como también, la falta de tiempo del personal del laboratorio para realizar estudios de este carácter. Puntualmente, es necesario identificar y clasificar los contaminantes generados en el laboratorio, valorar las cantidades que son generadas por unidad de tiempo y finalmente proponer soluciones para el manejo. En última instancia, para plantear una solución, fue necesario determinar los métodos de segregación, tratamiento y disposición más adecuados para cada tipo de residuos generado.

La (UNALM) es una institución reconocida a nivel nacional e internacional por destacar en temas relacionados al sector agrariosilvopecuario. Al mismo tiempo, en el ámbito local, es

vista como una institución donde se promueven políticas medioambientales para alcanzar un campus universitario limpio, así como también, un ambiente seguro y saludable para sus estudiantes, docentes y trabajadores. Tras la creación del nuevo Estatuto de la UNALM del año 2015, se dieron una serie de cambios institucionales que han acentuado las políticas ambientales de la universidad. Entre estas modificaciones, se encuentra en el artículo 43° del nuevo estatuto: la creación y funciones de la Oficina de Gestión Ambiental (OGA). Entre sus funciones, ésta se encarga de “asegurar la gestión efectiva del sistema del conjunto de procesos que contribuyen a la dirección, control y administración del aseguramiento de la calidad ambiental de la institución” (UNALM, 2015).

No obstante, debido a las limitaciones humanas, técnicas y económicas; las unidades de investigación, centros de producción y otras entidades proveedoras de servicios, no siempre son capaces de tomar medidas para reducir o transformar los residuos producidos por sus actividades. En algunas instancias, estas ni siquiera cuentan con diagnósticos o estudios de caracterización sobre los tipos y cantidades de residuos que producen. Dadas las implicancias que puede tener el mal manejo de los residuos, especialmente residuos peligrosos, es necesario implementar soluciones a esta falta de información.

El LASPAF no es ajeno a este problema general que presenta la UNALM, por esta razón, la presente tesis se realizará con el objetivo de recopilar información y generar conocimientos que puedan aportar un beneficio poblacional, mejorando la seguridad y el ambiente universitario para los estudiantes, docentes y trabajadores. Así mismo, siguiendo las líneas del nuevo Estatuto Universitario, esta investigación se realiza con el apoyo de la OGA; dentro del marco del programa “Agraria Sostenible”, el cual es promovido y ejecutado por la misma OGA.

Adicionalmente, Estrada (2011) resalta la importancia de la adecuada gestión de los residuos sólidos, lo cual puede también ser aplicable en el caso de los efluentes y emisiones:

En los últimos años ha surgido una gran preocupación respecto a los residuos químicos peligrosos en las instituciones educativas ... por la acumulación de residuos químicos y los efectos en la salud de la comunidad universitaria; por la incorrecta gestión de dichos residuos (Estrada, 2011).

Para la UNALM solo se han podido encontrar estudios de línea base acerca de la generación de residuos sólidos peligrosos basados en los registros de recojo de la empresa Befesa. La falta de información sobre la generación de residuos sólidos peligrosos en el campus universitario y al potencial riesgo que presentan las actividades en los laboratorios y centros de investigación es la principal razón por la que se plantea elaborar una serie de propuestas para mejorar el manejo de residuos, emisiones y efluentes en el LASPAF. Teniendo como objetivo a futuro, que éste pueda ser un documento replicable en los demás laboratorios y programas de investigación de la UNALM y otras universidades.

La presente investigación tiene un enfoque en su mayoría descriptivo y hace uso de herramientas cuantitativas. Se pretende describir los procesos utilizados en el LASPAF con énfasis en los residuos peligrosos, efluentes y emisiones atmosféricas generadas por las actividades del laboratorio. Estos, serán medidos según el medio en el que se encuentren y se compararán los valores obtenidos con los valores presentes en diversas normas nacionales e internaciones. Finalmente, se describirán posibles medidas que pudieran ser tomadas a futuro por el laboratorio para poder modificar y mejorar el manejo de las sustancias peligrosas generadas. El estudio se limitará a las instalaciones del LASPAF, incluyendo los alcantarillados y chimeneas que pudieran salir de las instalaciones.

Siendo el objetivo del presente estudio mejorar el manejo de los residuos peligrosos, efluentes y emisiones generadas por el LASPAF de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina, se han planteado los siguiente objetivos específicos: 1) Elaborar una línea base donde se incluya: la identificación y cuantificación de los residuos, efluentes y emisiones que son generados por el LASPAF. 2) Comparar resultados de línea base con normativas vigentes y detectar puntos críticos en la gestión del LASPAF. 3) Generar propuestas para mejorar estos puntos críticos, incluyendo un análisis de los costos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definiciones

En la presente tesis se trabajará con algunos conceptos que han sido debidamente definidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (Environmental Protection Agency, 2018):

Contaminante. Cualquier sustancia o materia física, química, biológica o radiológica que tiene un efecto adverso en el aire, agua o suelo. 2. En general, toda sustancia introducida en el medio ambiente con consecuencias adversas para la utilidad de un recurso o para la salud de los seres humanos, animales o ecosistemas.

Contaminantes tóxicos. Materiales que causan muerte, enfermedades o defectos congénitos en organismos que los ingieren o absorben. Las cantidades y exposiciones necesarias para causar estos efectos varían grandemente.

Efluente. Aguas residuales —con o sin tratamiento— que fluyen desde plantas de tratamiento, cloacas o emisarios industriales. Por lo general se refiere a los residuos vertidos en aguas de la superficie.

Emisión. Contaminación liberada a la atmósfera desde chimeneas de fábricas u otras ventilaciones y áreas de superficie de instalaciones comerciales o industriales; desde chimeneas residenciales y de los escapes de vehículos motorizados, locomotoras o aeronaves

Residuo. Los sólidos secos que permanecen después de la evaporación de una muestra de agua o cieno.

Cabe resaltar la diferencia entre el término general para los contaminantes y los contaminantes tóxicos (los que serían una subcategoría dentro de la primera). En función de los contaminantes que se encontraron en los laboratorios, se encontraron contaminantes tóxicos como parte de los efluentes (líquidos) así como también de los residuos (sólidos) generados por los laboratorios. Adicionalmente, luego de una revisión preliminar de los métodos empleadas en el laboratorio, se determinó que las emisiones (gases) también formarán una parte importante de los contaminantes generados debido al ácido nítrico; este también se incluyó dentro del presente estudio. Parte del trabajo que se realizó en el laboratorio fue identificar los contaminantes producidos distinguiendo y clasificando a los contaminantes tóxicos.

2.2. Estudios previos

2.2.1. Estudios a nivel universitario

A la actualidad, se han realizado una serie de estudios en diferentes universidades latinoamericanas con el objetivo de plantear propuestas para el manejo de los residuos sólidos y peligrosos (Sánchez, 2014; Arango, 2015; Alvarez & Campuzano, 2015; Gómez, 2005; Arango, 2015). Entre los estudios más relevantes a nivel universitario se encuentra la tesis realizada por Arango (2015); *“Plan de Manejo de Residuos Sólidos de la Pontificia Universidad Católica del Perú”*. Este estudio se centra en el manejo de todos los residuos sólidos de la PUCP, la autora hace referencia específicamente a los orígenes de los residuos peligrosos y el método por el cual estos son almacenados, segregados y transportados:

Los residuos peligrosos son generados principalmente en las prácticas de los laboratorios y algunas veces en otras áreas de la universidad, allí dependiendo de su estado (líquido o sólido), son colocados en envases de vidrio, plástico y en cajas. Lo primero que se tiene en cuenta en el manejo de estos residuos, es la posibilidad de tratarlo o separarlo para luego depositarlos en los envases correspondientes.

El transporte hacia el almacén central es realizado en algunos casos por el mismo responsable del laboratorio generador o por otro personal, generalmente se realiza

de forma manual. El ingreso al almacenamiento central se hace con la entrega de una ficha de registro (Página 26).

Otros estudios, como la tesis elaborada por Sánchez (2014), cuenta con un problema a tratar más específico que la tesis de Arango (2015). La tesis titulada: “*Propuesta de plan de manejo de residuos peligrosos generados en la Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel*”; como el título lo indica, se centra específicamente en el manejo de los residuos peligrosos para dicha universidad. Sánchez hace referencia a alguna de las normas mexicanas como guía de su investigación:

La NOM-052-SEMARNAT-2005 especifica que un residuo peligroso es aquel que presenta alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico-infecciosos (CRETIB, Tabla 2); también hace referencia a las sustancias tóxicas en cantidades establecidas como límites máximos permisibles y la generación de residuos o envases de materias primas empleadas en distintos procesos industriales y de servicios. Los residuos biológico infecciosos se clasifican de acuerdo a lo indicado en la NOM-087-SEMARNAT- SSA1-2002 (Página 6).

Las normas peruana que guían la presente investigación se indican en el inciso 2.4 Marco Legal, las cuales son la base legal de esta tesis; tanto para la clasificación de las sustancias tóxicas como para servir de valores límites que permitan comparar aquellos resultados con los muestreos que se realicen.

2.2.2. Estudios a nivel de laboratorio

De la misma forma, dentro de los estudios revisados se han encontrado una serie de diversas investigaciones específicas al manejo de residuos químicos y peligrosos en laboratorios (Ossa & Aguirre, 2007; Osicka, Benitez, & Giménez, 2004; Lozano, 2016; Estrada & Villanueva, 2015). La ventaja de estos estudios, a comparación de los estudios realizados a una escala universitaria, es que el nivel de detalle es mucho mayor. Esto permite tener mayor información sobre las actividades realizadas y permite proponer soluciones puntuales a los problemas hallados. “Aunque los laboratorios académicos representan menos del 1 por ciento de la producción nacional de sustancias peligrosas a

nivel nacional, ellos deben de seguir las mismas regulaciones impuestas a la industria que produce la mayoría del restante 99%” (Andrews, 1991). Por lo expuesto en la introducción, resulta muchas veces difícil tener un manejo adecuado de las sustancias peligrosas que se generan; en parte por sus pequeñas pero significativas cantidades; así como por la alta diversidad utilizada.

Para superar los desafíos mencionados, se debe estudiar los “factores que intervienen en el tratamiento y disposición final de los residuos tóxicos generados en los laboratorios químicos” considerando “grado de peligrosidad, el grado de toxicidad y las emisiones” (Estrada & Villanueva, 2015). Para ello, Estrada (2015), quien realizó su tesis de maestría sobre la generación de residuos químicos de los laboratorios de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) menciona el proceso desarrollado en su tesis para lograr un mejor manejo de dichos residuos:

Se identifica y se define finalmente cual será el tratamiento que recibirá el residuo tóxico. Aquí el residuo puede destinarse para tratamiento físico-químico, como reactivo o para encapsulado, en general todos los que no tienen etiqueta de identificación o no es legible son encapsulados.

Entre los puntos clave para la gestión de cualquier actividad, es el acceso a la información, “la información ayuda a detectar cualquier cosa que vaya mal” (Bartle, 2011). Así mismo, como menciona Estrada (2015), para la gestión de sustancias químicas, es indispensable identificar las sustancias que están siendo producidas para poder luego decidir el método de tratamiento y/o disposición adecuado. Si los desechos químicos generados por un laboratorio no son debidamente identificados, entonces no hay tratamiento que pueda ser realizado y tendrá que ser encapsulado. El presente proyecto de tesis propone soluciones para la generación de residuos, efluentes y emisiones generadas por el LASPAF sirviendo de diagnóstico a partir del cual se pueden implementar medidas de mejora.

En otros estudios más específicos realizados por el Instituto de Suelos, perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina, Ostinelli y Carreira (2010), analizaron los residuos que son típicamente generados en un laboratorio de suelos y hallaron que:

En función de la cantidad generada y por tratarse de desechos especiales o peligrosos se priorizaron para su tratamiento los residuos provenientes de los ensayos de nitrógeno orgánico (método Kjeldahl) y carbono oxidable (método de Walkley y Black) en suelo, y el ensayo de cloruros (método de Mohr) sobre muestras de agua, planteándose la gestión conjunta de los mismos.

Estos tres métodos mencionados por Ostinelli y Carreira (2010) son los mismos métodos utilizados dentro del LASPAF para la determinación de las sustancias mencionadas líneas arriba (LASPAF-UNALM, 2017).

Entre las especies peligrosas halladas en los métodos analíticos mencionados por Ostinelli y Carreira; se encuentra el cromo (trivalente y hexavalente), proveniente del dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) utilizado en el ensayo de cloruros y el ensayo de carbono oxidable. También se identificó el cobre (divalente), proveniente del sulfato de cobre ($CuSO_4$) utilizado como catalizador en el ensayo de nitrógeno orgánico. Esto sirvió de punto de partida para tener una idea preliminar de los elementos que se esperaba encontrar en el laboratorio y que además fueron prioridad para tratar.

2.3. Descripción de contaminantes

Entre la bibliografía revisada, inspecciones preliminares y revisión los métodos utilizados en el LASPAF, se han identificado una serie de contaminantes peligrosos que posiblemente podrían encontrarse en altas concentraciones en el LASPAF. A continuación, se realiza una revisión bibliográfica de las características, riesgos y precauciones para cada uno de los reactivos de mayor relevancia dentro del LASPAF.

2.3.1. Dicromato de potasio y cromo total

El dicromato de potasio ha sido uno de los químicos de mayor preocupación para el LASPAF. Pero esta preocupación no es únicamente del LASPAF, más bien, es común entre los laboratorios de análisis de suelos ya que es indispensable para la determinación de materia orgánica del suelo. En otras industrias, este también es utilizado “en la producción de productos pirotécnicos, explosivos, colorantes, productos para impresión, curtiembres, telas hidrofóbicas, baterías eléctricas, blanqueo de aceite de palma y como oxidante en la elaboración de otros productos químicos orgánicos” (Química UNAM,

2014). En el caso del LASPAF, el dicromato de potasio es utilizado en la determinación de materia orgánica del suelo por el método de Walkley y Black. “La materia orgánica del suelo es oxidada por una mezcla de $K_2Cr_2O_7$ más H_2SO_4 . El exceso de $K_2Cr_2O_7$ es determinado por titulación con $FeSO_4$ ” (LASPAF-UNALM, 2017).

En cuanto a los riesgos para la salud, el dicromato de potasio puede causar; quemaduras en la piel, trastornos gastrointestinales, paro cardiovascular, problemas hepáticos y renales, y riesgo de neumonía (CTR Scientific, 2010). Sin embargo, el principal riesgo del dicromato de potasio es su característica carcinógena la cual ha sido comprobado en diversos estudios (U.S. Environmental Protection Agency, 2015). La manera más eficiente de reducir los riesgos de cáncer por exposición con cromo es reduciendo el cromo (VI) a cromo (III). Ésta es justamente la reacción redox que permite la cuantificación de carbono en el método de Walkley y Black.

Adicionalmente, el cromo total y el cromo hexavalente se encuentra regulado por el Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA; Anexo II de los Valores Máximos Admisibles (VMA). El cromo total presenta un límite de 10 mg/L mientras que el cromo hexavalente (Cr^{+6}) tiene como límite 0.5 mg/L.

2.3.2. Sulfato ferroso

A diferencia de la mayoría de compuestos mencionados en esta lista, el sulfato ferroso, tiene una baja toxicidad. Uno de los principales usos de este compuesto es como suplemento nutricional, en bajas dosis (1 mg/kg/día), puede tratar y prevenir la anemia (Comité Nacional de Hematología, 2001). Como ha sido mencionado previamente, el sulfato ferroso es utilizado en la titulación del exceso de cromo (IV) a cromo (III). Sin embargo, el exceso de hierro puede causar inflamación en las paredes gastrointestinales y eventualmente corroer las mismas (Spanierman, 2019).

Adicionalmente, se ha encontrado efectos adversos por la exposición e ingesta excesiva de sulfatos. La ingestión de 8 g de sulfato de sodio y 7 g de sulfato de magnesio causaron catarsis en adultos hombres (World Health Organization, 2004). Los mismos efectos fueron registrados en personas quienes bebían agua con concentraciones de sulfato mayor a 600 mg/L (US DHEW, 1962). No obstante, estos efectos solo ocurre en concentraciones

excesivamente altas de sulfatos. En el caso del LASPAF, se prevé una especial preocupación por los sulfatos no tanto por los efectos a la salud, sino por las normativas vigentes.

Actualmente, los niveles de sulfatos se encuentra regulado por el Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA; Anexo II de los Valores Máximos Admisibles (VMA). Los sulfatos presentan un límite de 1000 mg/L.

2.3.3. Sulfato de cobre

El sulfato de cobre, tiene una variedad de usos, entre los más comunes, se encuentra el uso en la agricultura (como fungicida inorgánico), cría de animales, fundición de acero, fabricación de cuero y en la industria del petróleo (TOXNET, 2017). Además, este compuesto también es utilizado en bajas proporciones en los análisis que se realizan en el LASPAF. Específicamente, este es utilizado en la determinación de nitrógeno Kjeldahl en muestras de suelo (LASPAF-UNALM, 2017). La función que cumple el sulfato de cobre en la determinación de nitrógeno en una muestra de suelo es la de un catalizador.

Los catalizadores [en el análisis Kjeldahl] están compuestos por más del 97% de una sal que provoca un aumento en la temperatura de ebullición del ácido sulfúrico y del 1-3% de un tipo de catalizador o una mezcla de catalizadores para aumentar la velocidad y la eficiencia del procedimiento de digestión. El uso de cobre como catalizador se está volviendo cada vez más común por ser más amigable con el medioambiente. Actualmente, el selenio y el cobre se utilizan como catalizadores en más del 90% de las digestiones de Kjeldahl que se realizan en todo el mundo. (PanReac Química SLU, 2017).

Desafortunadamente, el sulfato de cobre es también tóxico; el sulfato de cobre produce hemólisis, incrementando la permeabilidad de los glóbulos rojos y reduciendo la protección de estas a radicales libres de oxígeno (TOXNET, 2017).

Además el vertimiento de cobre está regulado por el Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA; Anexo II de los Valores Máximos Admisibles (VMA). El cobre presenta un límite de 3 mg/L.

2.3.4. Nitrógeno amoniacal

El ciclo del nitrógeno es uno de los ciclos más ampliamente estudiados, principalmente con fines económicos, para la elaboración de fertilizantes nitrogenados. El nitrógeno amoniacal hace referencia a dos de las formas más comunes de nitrógeno que son parte del ciclo de nitrógeno. Estas dos formas son: amoniaco (NH_3) y amonio (NH_4^+); la primera de estas formas en estado usualmente gaseoso y la segunda es su forma iónica; la cual se forma cuando el amoniaco se encuentra en solución.

Según la investigación realizada por Marinelle y Häggström (1993), la diferencia entre la alta toxicidad del amonio y la baja toxicidad del amoniaco se podría deber al mecanismo de acción sobre la célula. Los “iones de amonio compiten con los iones de potasio para el transporte [celular] interno, a través de la membrana citoplasmática, por medio de las proteínas de transporte de potasio” (Martinelle & Häggström, 1993). A diferencia de éste, el amoniaco es un gas incoloro, de olor pungente, altamente alcalino y corrosivo (Scottish Environmental Protection Agency, 2012). Las principales fuentes de nitrógeno amoniacal son: descomposición de materia orgánica, lixiviados de excreta, fertilizantes y procesos industriales (Scottish Environmental Protection Agency, 2012). Por otro lado, Purwono et al. (2017) mencionan sobre los efectos del nitrógeno en el ambiente:

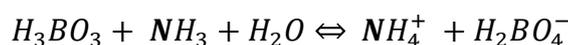
La contaminación de nitrógeno en los cuerpos de agua puede crear serios problemas, como la degradación de la calidad del agua, eutrofización de represas y potencialmente ser un peligro para la salud animal y humana. Los compuestos nitrogenados, pueden también causar floración masiva de algas, las cuales reducen la cantidad de oxígeno disponible en el agua, por otro lado, los compuestos de nitrógeno amoniacal son tóxicos para la vida acuática.

El vertimiento de nitrógeno amoniacal está regulado por el Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA; Anexo II de los Valores Máximos Admisibles (VMA). El nitrógeno amoniacal presenta un límite de 80 mg/L.

2.3.5. Ácido bórico y boro

El ácido bórico tiene una aplicación muy amplia, en la medicina “se utiliza como: antiséptico, bactericida y antimicótico. Pero hay que tener en cuenta que es un producto tóxico y venenoso, ingerirlo puede ocasionar diarrea y vómito y en mayor cantidad puede ser mortal” (DQI, 2010). También se usa como insecticida para eliminar termitas, cucarachas y hormigas. En las aplicaciones industriales, sirve para: fabricar fibra de vidrio, fabricar extintores de fuego, utilizar en joyería, elaborar agentes de limpieza, jabones, cerámicas y porcelanas.

El uso más específico que se le da al ácido bórico en el LASPAF es como solución absorbente de amoníaco. A continuación se muestran tres reacciones simplificadas que se dan durante el proceso de destilación para la determinación de nitrógeno Kjeldahl:



Se puede observar en la última ecuación, la función que cumple el boro de capturar el gas de amoníaco. Posteriormente, se cuantifica la cantidad de $H_2BO_4^-$ que es directamente proporcional a la cantidad de amonio en la muestra.

La intoxicación con [boro] puede ser aguda o crónica. La intoxicación aguda generalmente ocurre cuando alguien ingiere productos en polvo para matar cucarachas que contienen el químico. La intoxicación crónica ocurre en aquellas personas expuestas en forma repetitiva al ácido bórico ... Los síntomas más comunes pueden ser: ampollas, desmayo, coma, convulsión, somnolencia, fiebre, apatía para hacer cualquier cosa y baja presión arterial (Heller, 2017).

No obstante, para llegar a los síntomas mencionados por Heller (2017) se requiere ingerir una dosis muy alta, como se menciona, usualmente el consumo directo del polvo insecticida. La preocupación más inmediata del ácido bórico es la regulación del boro por el Decreto Supremo N°010-2019-VIVIENDA; Anexo II de los Valores Máximos Admisibles (VMA). El boro presenta un límite de 4 mg/L.

2.3.6. Ácido nítrico y dióxido de nitrógeno

“El ácido nítrico es un ácido fuerte, corrosivo y de vapores sofocantes... posee un olor irritante muy fuerte en concentraciones altas ... el ácido nítrico se descompone por el calentamiento formando agua, oxígeno y dióxido de nitrógeno” (Laboratorio Riscos, 2004). Por lo mencionado, es indispensable centrar la atención no en el ácido nítrico, sino en el dióxido de nitrógeno que este forma al descomponerse.

Entre las principales fuentes de dióxido de nitrógeno se encuentra: “el escape de vehículos motorizados, la combustión del carbón, petróleo, o gas natural, la soldadura al arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar ácido nítrico con metales o con celulosa” (ATSDR, 2016).

En el LASPAF, el principal uso del ácido nítrico es para la digestión ácida de las muestras de tejido vegetal y de suelo. El método indica que se debe “colocar [la muestra más la solución nítrica-perclórica] en un matraz y este sobre la plancha de calentamiento y luego elevar gradualmente la temperatura hasta 180 °C” (LASPAF-UNALM, 2017). A esta temperatura, todo el ácido nítrico además de haber destruido las moléculas de la muestra a sus partículas más elementales (átomos), el mismo ácido se habrá descompuesto en agua, oxígeno y dióxido de nitrógeno.

Los niveles bajos de dióxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. La exposición a bajos niveles también puede producir acumulación de líquido en los pulmones 1 ó 2 días luego de la exposición. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede rápidamente producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte (ATSDR, 2016).

Es por esta razón que es indispensable el monitoreo del aire así como también la adecuada protección de los trabajadores que están en contacto con el dióxido de nitrógeno así como

también vapores ácidos de cualquier tipo. Adicionalmente, el dióxido de nitrógeno se encuentra regulado en el Perú por el Decreto Supremo N°003-2017-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de aire fijando un valor máximo referencial para el dióxido de nitrógeno de 200 µg/m³ en un promedio horario.

2.4. Marco legal

Constitución Política del Perú (1993)

Artículo 67°.-

“El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales”.

Ley N° 28611 .- Ley General del Ambiente

Artículo 119°.- Del manejo de los residuos sólidos.

“La gestión de los residuos sólidos distintos a los [residuos sólidos de origen doméstico y comercial] son de responsabilidad del generador hasta su adecuada disposición final” .

Ley N° 26842 .- Ley General de Salud

Artículo 99°.- De las sustancias y productos peligrosos para la salud.

“Los residuos procedentes de establecimientos donde se fabriquen, formulen, envasen o manipulen sustancias y productos peligrosos deben ser sometidos al tratamiento y disposición que señalan las normas correspondientes. Dichos residuos no deben ser vertidos directamente a las fuentes, cursos o reservorios de agua, al suelo o al aire”

Ley N° 26338 .- Ley General de Servicios de Saneamiento

Artículo 17°.-

Los usuarios del servicio de alcantarillado sanitario y pluvial, no pueden descargar en las redes públicas efluentes o elementos extraños que contravengan las correspondientes normas de calidad.

Decreto Legislativo N° 1278 .- Que aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos

Anexo - Definiciones

Residuos peligrosos.- Son residuos sólidos peligrosos aquellos que, por sus características

o el manejo al que son o van a ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente.

Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM .- Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278

Artículo 71°.- Establecimiento de residuos sólidos peligrosos

Los residuos sólidos peligrosos se encuentran contemplados en el Anexo III del presente Reglamento, en concordancia con lo establecido en el Convenio de Basilea sobre el Control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, aprobado por la Resolución Legislativa N° 26234.

Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA .- Que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

Anexo N°01 y N°02 - Valores Máximos Admisibles

Tabla 1: Valores Máximos Admisibles Anexo I

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA

Tabla 2: Valores Máximos Admisibles Anexo II

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuros	mg/l	S ⁻²	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH ⁺⁴	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias

Anexo - Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Tabla 3: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aire Anexo I

Parámetros	Período	Valor [µg/m ³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ¹⁾
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ²⁾	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

¹⁾ o método equivalente aprobado.

²⁾ El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM

III. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del lugar

Los edificios del LASPAF se encuentran ubicados en la parte sur de la ciudad universitaria de la UNALM, adyacente a la Av. Javier B. de la Flor (Anexo 1). El LASPAF se divide en dos áreas; el área 1 del LASPAF está ubicado por los laboratorios de Pesquería y Agronomía, entre el Gabinete de Cartografía de Suelos y el Laboratorio de Manejo de Suelos (Anexo 2). El área 2, está ubicado en un edificio aparte que es adyacente a la Clínica de Diagnóstico de Fitopatología y Nemátodos (Anexo 3). Ambas áreas tienen características similares, el área 1 cuenta con un espacio reducido donde se realizan la mayoría de análisis de suelo, materia orgánica y plantas. En el área de 2 se realizan algunos análisis de suelo y plantas pero también se trabajan las muestras de agua y fertilizantes.

3.2. Elaboración de línea base

3.2.1. Identificación

Se revisaron los protocolos que se siguen en el laboratorio para cada tipo de análisis. Se utilizó la descripción de las metodologías indicadas en el: Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7 para poder identificar el uso de sustancias nocivas en cada protocolo. Luego, se realizaron una serie de entrevistas a los trabajadores acerca de cómo se llevaban a cabo los protocolos. El mayor énfasis de estas entrevistas no estructuradas fue determinar qué tipo de residuos peligrosos manipulaban y cómo lo hacían. Así mismo, se buscó confirmar que las instrucciones de los protocolos estén acorde a lo que se viene realizando en el laboratorio.

Se elaboró una tabla de residuos los cuales son prioridad; ya sea por su peligrosidad o toxicidad según el Anexo III de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, o también

por las sanciones impuestas según el Anexo I y II del Decreto Supremo que aprueba los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA). Esta tabla se presenta en la sección 4.2 Estimación de químicos utilizados en el LASPAF.

Como parte de la etapa de identificación, se han ubicado tres puntos de monitoreo de efluentes líquidos: a1, a2 y a3. El punto a1 se ubica en el área 2 (Anexo 3), mientras que los puntos a2 y a3 se ubican en el área 1 (Anexo 2). Estos puntos han sido identificados como puntos de monitoreo de efluentes líquidos ya que el alcantarillado se conecta directamente con los lavamanos donde se realizan los vertimientos del laboratorio.

De esta misma forma, se localizó tres puntos de monitoreo de residuos sólidos: b1, b2 y b3. Los puntos b1 y b2 se encuentra en el área 2 (Anexo 3), mientras que el punto b3 se ubican en el área 1 (Anexo 2). El punto b1 y b3 son muestras de sedimentos de la caja de alcantarillado donde escurre el efluentes del punto a1, a2 y a3, respectivamente (ver **Figura 1** para ilustración y Anexo 2 y Anexo 3 para ubicación)



Figura 1: Caja de alcantarillado con trampa de sedimentos colmatada.

Fuente: elaboración propia

El punto b2, ubicado afuera del área del laboratorio, es el lugar donde los restos de muestras de suelos son almacenados temporalmente (**Figura 2**). En este punto se deposita una mezcla de todos los restos tamizados de diferentes muestras ingresadas al laboratorio.



Figura 2: Mezcla de restos de suelo y desmonte.

Fuente: elaboración propia

Finalmente, se determinaron los puntos c1, c2 y c3 los cuales serían los puntos de monitoreo de aire. El punto c1, se encuentra en el área 2 (Anexo 3), directamente en la salida de la chimenea de la campana de extracción de esta área (**Figura 3**). De forma similar, el punto c2 está localizado en el área 1 (Anexo 2) corresponde a la chimenea de la campana de extracción ubicada en esta área. Por otro lado, el punto c3, está también ubicado en el área 1 pero se encuentra a 20 m del punto c2 en la dirección aproximada a la dirección del viento. Este punto fue el único punto que podrá ser comparable con los ECA para aire.



Figura 3: Chimenea del punto c1 con *scrubber* en desuso.

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, la **Figura 4** muestran los contenedores de reactivos nuevos que son recepcionados y almacenados en el LASPAF. Algunos de estos son envases de vidrio los cuales están contenidos dentro de envases de poliestireno o tecnopor, se encuentran dentro o fuera de las cajas originales y están acomodados en la repisa como se observa en la **Figura 4**. En algunos casos, los frascos de vidrio que ya han sido utilizados también son devueltos al almacén y son acomodados en la repisa o en el suelo. Algunos de estos frascos son reutilizados, otros son devueltos al proveedor y la mayoría son enjuagados y depositados en los contenedores de residuos generales que se encuentra ubicado a las afueras del laboratorio; por le área 2 del laboratorio, cruzando la Av. Javier B. de la Flor.



Figura 4: Almacenamiento de reactivos químicos.
Fuente: elaboración propia

La **Figura 5** es otro ángulo del mismo almacén de reactivos donde se pueden apreciar los bidones de 25 y 35 litros los cuales en su mayoría son bidones de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico nuevos, en uso, o vacíos. En el caso de estas sustancias peligrosas, todas son compatibles ya que su carácter de peligrosidad se debe a la corrosividad y alta acidez.



Figura 5: Almacenamiento de envases vacíos.

Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar de este ángulo la acumulación de poliestireno en el almacén, así como también los bidones de 25 y 35 L en desuso. Una fracción de estos frascos son enjuagados repetidas veces y reutilizados para almacenar agua destilada (LASPAF-UNALM, 2017).

En la **Tabla 4** se puede apreciar una breve descripción de la ubicación y la función de cada uno de los puntos de monitoreo para agua, suelo y aire. Éste ayuda a dar un mejor entendimiento de los puntos que han sido identificados para cada una de las respectivas matrices (efluentes, residuos, emisiones).

Tabla 4: Resumen y descripción de los puntos de muestreo según cada matriz

Matriz	Punto	Descripción
Efluentes	a1	Ubicado en el área 2 del LASPAF, por este punto pasa los efluentes del lavamanos donde se vierten los residuos de la prueba de textura.
	a2	Ubicado en el área 1 del LASPAF, por este punto pasan los efluentes de dos lavamanos. Ambos son utilizados para el lavado de equipos, el segundo lavamanos (que se encuentra más cercano al punto de muestreo) es el que tiene un mayor uso.
	a3	Ubicado en el área 1 del LASPAF, por este punto pasan los efluentes de 6 lavamanos, sin embargo de estos solo 4 pertenecen al LASPAF. Los otros 2 pertenecen al laboratorio de investigación de al lado. De los 4 lavamanos, principalmente se utilizan los dos más lejos al buzón para el lavado de los equipos.
Residuos	b1	Este punto de muestreo se encuentra en el área 2 del LASPAF, dentro del buzón de alcantarillado. Este buzón tiene una profundidad aproximada de 50cm que sirve como trampa de sólidos, sin embargo la trampa no ha sido limpiada hace por lo menos 5 años y se encuentra llena de sedimentos (ver Figura 1).
	b2	Este punto se encuentra ubicado fuera del área del LASPAF. Es el lugar donde se deposita los residuos sólidos generados por el laboratorio. Éstos se encuentran apilados en un montículo sobre los campos experimentales de agronomía (ver Figura 2).
	b3	Ubicado en el área 1 del LASPAF, se encuentra en el buzón de alcantarillado donde se vierten efluentes del punto a2 y a3. Cumple la función de ser una pequeña trampa de sólidos sedimentables con una profundidad aproximada de 20 cm.
Emisiones	c1	Punto ubicado en el techo del área 2 del LASPAF mide la emisión de la chimenea de la campana de extracción del área 2 (ver Figura 3)
	c2	Punto ubicado en el techo del área 1 del LASPAF mide la emisión de la chimenea de la campana de extracción del área 1.
	c3	Punto ubicado en el techo del área 1 del LASPAF mide la inmisión de la chimenea de la campana de extracción del área 1. Está ubicado a 20 m del punto c2 en dirección del viento.

Fuente: elaboración propia

En la **Tabla 5** puede apreciar las coordenadas UTM de cada uno de los puntos donde se ha tomado las muestras. Éste ayuda a localizar los puntos con mayor facilidad en un mapa convencional dentro de la zona UTM 18L.

Tabla 5: Coordenadas UTM WGS84 de puntos de muestreo en sólidos, efluentes y emisiones

Matriz	Punto	Coordenadas UTM WGS84 E	Coordenadas UTM WGS84 S
Efluentes	a1	287915	8663396
	a2	287996	8663474
	a3	287995	8663474
Residuos	b1	287916	8663395
	b2	287979	8663397
	b3	287995	8663474
Emisiones	c1	287921	8663399
	c2	288006	8663485
	c3	288024	8663494

Fuente: elaboración propia

3.2.2. Estimación

Para estimar las cantidades de cada sustancia tóxica generada por el LASPAF se dividieron los servicios que se realizan según la **Tabla 6**:

Tabla 6: Lista de tipos de procedimientos analíticos que son realizados en el LASPAF y paquetes que son ofrecidos

Tipo de análisis o ‘paquete’	Parámetros analizados
Fertilidad	pH, CE, M.O., PK ₂ O, carbonatos y aluminio cambiabile
Caracterización	fertilidad, textura, CIC, Ca, Mg, K, Na, acidez cambiabile
Salinidad	caracterización, cationes, aniones, yeso y boro soluble
Aguas	pH, CE, Boro, aniones y cationes solubles, relación adsorción sódico
Tejido vegetal	elementos mayores: N, P, K, Ca, Mg elementos menores: Fe, Cu, Zn, Mn, B
Materia Orgánica	pH, CE, M.O., N, P ₂ O ₂ , K ₂ O, CaO, MgO y humedad
*Fertilizantes	elementos mayores: N, P, K, Ca, Mg elementos menores: Fe, Cu, Zn, Mn, B
Microelementos disponibles	Fe, Cu, Mn, Zn, B y Cl
**Elementos pesados	Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cr, Cd

*Según elementos que solicite cliente

**Se realiza en suelo, agua, tejido vegetal y fertilizantes

Fuente: elaboración propia

El LASPAF ofrece el tipo de análisis como paquetes dentro de los cuales se incluyen análisis de parámetros específicos que están listados en la segunda columna de la **Tabla 6**. Se solicitó la información anual del número de análisis realizado en el LASPAF con el fin de poder estimar las generación total anual de los residuos. Se verificó la validez de representatividad de estos años y se promediaron para tener un valor que se ajuste a las fluctuaciones anuales de demanda.

Teniendo las cantidades de residuos que son generados por cada análisis y el registro histórico del número de análisis que se han realizado en un año; se estimó la cantidad total de cada contaminante generado por el laboratorio. De forma tal, se identificó los

contaminantes que en términos volumétricos o por su toxicidad, representan un mayor problema, esta información complementa aquella que se midió directamente del efluente.

3.2.3. Cuantificación

3.2.3.1. Materiales y equipos

- Reloj y cronómetro
- 18 botellas carcasa dura 1 L
- 2 vasos precipitados 200 mL
- Probeta 1L
- 2 baldes plástico de 20 L
- Tubo de PVC de 1 pulgada por 1 metro de largo
- 3 bolsas de polietileno
- Plástico de 5x5 m
- Pala
- Wincha de 30 m
- Tubo muestreador

- AQ-Pro E Instrument
- Anemómetro Lutron AM-4206
- Analizador Multi Parámetro Consort C1020
- Conductímetro portátil WTW 330I
- Detector Multigas Altair 4x

3.2.3.2. Residuos sólidos peligrosos

Los puntos b1, b2 y b3 fueron los puntos donde se obtuvieron las muestras de residuos sólidos. En primer lugar, se buscó identificar si en estos puntos se encuentran residuos sólidos que clasifiquen como peligrosos según el Anexo III del reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Decreto Supremo N°014-2017-MINAM) utilizando los valores regulatorios de la EPA 1311 (procedimiento de lixiviación característica de toxicidad o TCLP por sus siglas en inglés). Específicamente, debido a la naturaleza de la actividad que se lleva a cabo en el laboratorio, se optó por registrar los niveles de cromo y plomo de cada una de las tres muestras.

El primer punto b1 se encuentra dentro de la caja de alcantarillado y ubicado en la caja que recibe los efluentes del punto a1. La razón por la cual se eligió muestrear este punto es porque en los dos vertederos que desembocan en esta caja de alcantarillado, se realizan los

protocolos de textura del suelo. Por tal motivo, el alcantarillado termina recibiendo parte de las arcillas y limos suspendidos en las probetas. Según el personal entrevistado, ocasionalmente, otros reactivos son vertidos por estos mismos lavamanos. Existía la sospecha que los mismos sedimentos puedan estar contaminados, especialmente, se cree que debido a las propiedades adsorbentes de la arcilla, algunos cationes puedan quedar atrapados en estos sedimentos. Como menciona Martínez (2017):

El valor elevado de área superficial y sitios activos, provocan que éste material posea una gran capacidad de intercambio catiónico, como resultado de tender a compensar el déficit de cargas generadas en el espaciado interlamina de cationes débilmente ligados, con variado estado de hidratación.

Debido a esta gran capacidad de intercambio catiónico de la arcilla, se decidió tomar muestras de la trampa de sedimentos en el punto b1 y se optó por medir la conductividad para aproximar la presencia de metales y cationes en la muestra. De forma similar, el punto b3, que está ubicado dentro de la caja de alcantarilla donde desemboca el punto a2 y a3, se encontró llena de sedimentos y colmatada. Por más que en este punto no se realizan las pruebas de textura como el punto b1, igual se vierte cantidades mínimas de suelo por cada ensayo que se realiza, con el tiempo, estas pequeñas cantidades de suelo, han formado una gran capa de sedimentos.

El punto b2, ubicado afuera del área del laboratorio, es el lugar donde los restos de muestras de suelos son almacenadas temporalmente (ver **Figura 2**). Estos restos son traídos de diferentes etapas del proceso; la fuente principal de generación de residuos sólidos es el pre procesamiento de las muestras de suelo, estas son trituradas y tamizadas para luego ser puestas en sus respectivas cajas. Luego del proceso de tamizado, las partículas mayores a 2mm de diámetro son separadas del resto de la muestra y se llevan a la pila de desmonte. Además, según la información de los trabajadores del LASPAF, luego de aproximadamente un año de guardadas, las muestras sobrantes son descartadas de la misma forma. Como última fuente de generación, se encuentran los restos sólidos de la prueba de textura, en esta prueba solo se utiliza hexametáfosfato de sodio como agente dispersante, por lo que no se espera encontrar contaminación química que tenga como origen las pruebas del laboratorio.

Se esperaba encontrar cantidades traza de metales pesados, por la naturaleza de las muestras se midió plomo y por la actividad del laboratorio se midió cromo.

Por la naturaleza de cada uno de estos puntos, el muestreo se realizó de una forma diferente para cada uno. Para el punto b1, ubicados dentro del buzón de alcantarillado, se utilizó una pala y se depositó la muestra en un contenedor de 80 L hasta haber extraído el equivalente a 1/3 de la altura de la trampa de sólidos. Dentro del contenedor, se homogenizó la muestra y se tomó una muestra de aproximadamente 2 kg, totalmente homogenizada. En el caso del punto b3, el procedimiento fue similar; sin embargo, se extrajo la muestra haciendo uso de un balde de 5 L y una soga amarrada a este, ya que la altura de este buzón era mayor. La muestra se almacenó y homogenizó de la misma forma que el punto b1.

Puntos de muestreo: b1 y b3

1. Se utilizó una pala para extraer los sólidos de la trampa de sedimentos del punto b1, en el caso del punto b3, se utilizó un balde de 5 L.
2. Se removieron aproximadamente 1/3 de los sólidos que se encontraban en cada una de las trampas.
3. Los sólidos extraídos fueron almacenados temporalmente en un balde de 80 L.
4. Se homogenizó la muestra en cada uno de los baldes antes de tomar una sub muestra de aproximadamente 2 kg en una bolsa de polietileno.
5. Las muestras ingresaron al LASPAF para ser analizadas en los siguientes parámetros: plomo y cromo.

Para el caso del punto de muestreo b2, por ser una pila de desmonte, fue necesario realizar una homogenización de todo el material que se encuentre disponible al momento del muestreo y luego se tomó tres muestras de la pila aleatoriamente para así tener una muestra lo más representativa posible. En este caso, separar el desmonte producto de una reciente remodelación cerca de esta área y los residuos de suelo, fue una ardua tarea.

Puntos de muestreo: b2

1. Se utilizó un plástico de 5 x 5 m para evitar la contaminación con los materiales del suelo y sobre este poder realizar el método de cuarteo.
2. Se acomodó todo el residuo sólido sobre el plástico
3. Se utilizó una pala para armar y re armar tres veces consecutivas la pila de residuos sólidos.
4. Segú el método de cuarteo, luego de apilar la muestra tres veces, se dividió la pila en cuatro pilas más pequeñas y nuevamente las pilas más pequeñas se dividieron en cuatro hasta quedar con un volumen de tierra subdividido que tuviera aproximadamente 1 kilogramo.
5. De este modo se eligieron 3 muestras aleatorias y se volvieron a combinar en una bolsa de polipropileno para analizar los siguientes parámetros: plomo y cromo.

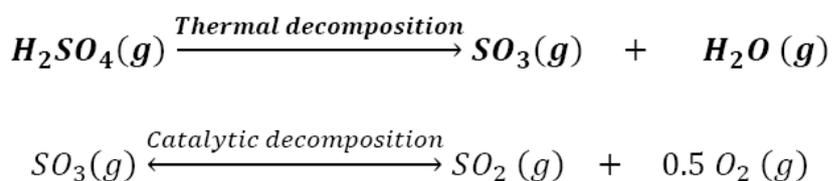
3.2.3.3. Emisiones atmosféricas

Se identificaron las 3 chimeneas de las campanas de extracción que eran utilizadas en el LASPAF. Se incluyó el punto de emisión c1 del área 2 (Anexo 3) donde se digieren en medio ácido las muestras de suelo. Por otro lado, el punto de emisión c2 del área 1 (Anexo 2) es donde se digieren en medio ácido las muestras de tejidos vegetales. También se identificó la dirección del viento predominante con lo que se determinó la ubicación óptima para el punto de inmisión c3, localizado a 20 metros del punto c2 según indica el *“Protocolo de monitoreo de la calidad del aire”* elaborado por la DIGESA.

Para las campanas de extracción fue necesario medir el flujo de aire mediante el uso de un anemómetro según lo sugerido en la “NTP 668: Medición del caudal en sistemas de extracción localizada” propuesta por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2004). Se utilizó el anemómetro marca Lutron modelo AM-4206.

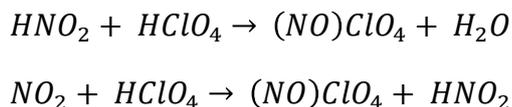
Entre los contaminantes relevantes identificado dentro de las emisiones atmosféricas, se registró al ácido sulfúrico y ácido nítrico, el primero es utilizado en el Método Kjeldahl para la determinación de nitrógeno, mientras que es segundo, se utiliza para la extracción en vía húmeda o digestión ácida, tanto de muestras de suelo como tejido vegetal. Ambos métodos siguen los procedimientos indicados en el Anexo 5 y Anexo 6; la metodología incluye “Colocar [la muestra más la solución nítrica-perclórica] sobre la plancha de calentamiento y elevar gradualmente la temperatura hasta 180 °C” (LASPAF-UNALM, 2017).

Para el caso del ácido sulfúrico, la evidencia indica que la descomposición se da en dos etapas, la etapa térmica y catalítica. La primera etapa se da espontáneamente a altas temperaturas; mientras que, para que ocurra la segunda reacción necesita de un catalizador y temperaturas significativamente mayores a 160°C:

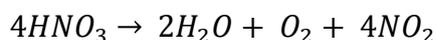


(Kondamudi, 2015)

En el caso de NO₂, de acuerdo a Monk (1963), “se espera que el ácido nitroso o el dióxido de nitrógeno retrasen la reacción entre ácido nítrico y celulosa” según las siguientes reacciones:



Según Pannu (1998), “el ácido nítrico es relativamente estable a temperatura ambiente. Sin embargo, se descompone a temperaturas por encima de 68°C”.



Estas 3 reacciones son la evidencia de la generación de dióxido de nitrógeno por la descomposición de ácido nítrico y sirven de fundamento para las mediciones que se realizó de dióxido de nitrógeno.

Para cuantificar los gases emitidos por el LASPAF se midieron las concentraciones de NO_2 tanto en la salida de la chimenea (emisión) como a 20 metros de la chimenea (calidad de aire). No obstante, en el caso de SO_2 se realizaron mediciones preliminares utilizando el equipo AQ-Pro E Instrument dentro del área de trabajo tanto en la digestión como en la destilación y no se pudo encontrar mayor rastro de SO_2 . La razón de esto es porque el proceso cuenta con un sistema de lavado de gases o *scrubber* el cual remueve el vapor de gas junto con el SO_2 que se pudiera haber dissociado del gas (**Figura 6**).



Figura 6: Scrubber Método Kjeldahl.

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, en el caso del NO_2 , únicamente cuenta con una especie de *scrubber* en el área 2 (**Figura 3**) el cual no ha tenido el mantenimiento adecuado y actualmente se encuentra totalmente vacío e inoperativo. Es por este motivo, que se midió únicamente NO_2 , en los tres puntos previamente mencionados (c1, c2 y c3).

Según el Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos de la DIGESA; “Para minimizar los efectos de las fuentes locales, se recomienda instalar la estación de monitoreo a una distancia de por lo menos 20 metros de cualquier fuente industrial, doméstica o de carreteras con alto tráfico vehicular” (DIGESA, 2005). Por tal razón, se decidió instalar el punto c3 a una distancia de 20 metros de la chimenea más cercano del LASPAF (punto c2). A continuación una descripción más detallada del procedimiento del muestreo:

Puntos de muestreo: c1, c2 y c3

1. Se utilizó el equipo de protección personal adecuado (lentes, máscara 3M con cartucho 6003 para vapores ácidos bata y guantes).
2. Se colocó el equipo Altair 4x a la salida de cada una de las chimeneas. (En el caso del punto c1, se colgó el equipo en el *scrubber* en desuso; para el punto c2, se colocó sobre una plataforma directamente al frente de la salida de la chimenea).
3. Debido a que el quipo no podía registrar los valores de forma continua, se anotó la concentración de NO₂ en intervalos de un minuto.
4. En intervalos de 10 minutos, se tomó la medida del la velocidad de salida.
5. Se midió el diámetro de salida de cada uno de cada chimenea para poder tener el valor del caudal.
6. Las mediciones fueron realizadas durante el procesamiento de un lote de muestras (entre 30 y 40 muestras).
7. Una vez detectado el límite máximo de 50 ppm para el punto c2, se procedió a alejar el punto de muestreo al punto c3.
8. Se registraron las medidas en este punto hasta que el valor de emisión regresó a valores inferiores a 50 ppm (esto se corroboró entre cada intervalo de 1 minuto).

9. Todos los datos fueron luego graficados y convertidos a unidades de concentración mg/m^3 , $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de intensidad de emisión mg/s .

3.2.3.4. Efluentes líquidos

En cuanto a los efluentes; luego de identificar las cajas de alcantarillado a la salida del LASPAF y determinar los puntos de muestreo, así como también los momentos de máxima carga de efluentes (durante el lavado de los equipos de laboratorio). Se tomaron muestras compuestas siguiendo los métodos de ensayo aplicables; sugeridos en el Anexo B de la Norma Técnica Peruana 214.060.2016 “*Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado*”. Luego, el análisis de las muestras serían analizadas por el mismo LASPAF, siguiendo los “*Métodos Estándares para la Examinación de Agua y Efluentes*” (SMEWW, por sus siglas en inglés). Adicionalmente, se tomaron muestras puntuales durante los periodos de máxima carga (el intervalo exacto dependió del día de monitoreo), en este periodo es donde se vierten la mayor cantidad de reactivos y se realiza el lavado de los equipos.

Por temas prácticos y para adecuar la Norma Técnica Peruana 214.060.2016 al contexto del LASPAF, se realizó el monitoreo durante un periodo de 8 horas consecutivas en intervalos de 30 minutos. Según la NTP, los “volúmenes parciales se determina en proporción al caudal del agua residual en el momento de cada muestreo” (NTP 214.060.2016). Sin embargo, dado el caudal tan variado que se tiene en el laboratorio y al difícil acceso para tomar la muestra del punto a2, se optó por un método alternativo. Una vez removidos parte de los sólidos sedimentados en cada una de las cajas, se tuvo una altura aproximada de agua de 15 centímetros donde era posible tomar una muestra. Es en este punto donde se tomó la muestra para ambas cajas de alcantarilla como se muestra en la **Figura 7**. A este punto se ha denominado punto a2/a3 por ser una muestra combinada de ambos puntos.



Figura 7: Buzón de alcantarilla (punto a2 y a3) e ilustración de método de muestreo.

Fuente: elaboración propia

Los caudales fueron medidos acorde a la presente NTP, únicamente en el punto a1 y a3 en cada momento que había algún tipo de flujo. El punto a2, sin embargo, se encontraba un poco por debajo del ras del espejo de agua y tomar la muestra directamente fue una labor imposible. Para cada intervalo, se tomó 1 litro de muestra de la cual se utilizó 100 mL para medir el pH y 100 mL para la temperatura, conductividad eléctrica y STD. Cada una de estas muestras parciales fueron vertidas dentro de un balde de 20 L. Al final de las 8 horas de muestreo, se homogenizó las muestra compuesta contenida en el balde y se tomó 1 L de muestra la cual fue enviada para ser analizada en el LASPAF. Los parámetros analizados se detallan en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Lista de parámetros que se midieron por cada punto muestreado

Matriz	Punto	Descripción de Muestra	Parámetros
Efluentes**	a1	3 repeticiones muestra compuesta 3 repeticiones muestra puntual	- sólidos suspendidos totales - boro - cadmio
	a2	3 repeticiones muestra compuesta (a2/a3)	- cobre - cromo Total - manganeso - plomo - sulfatos - zinc
	a3		3 repeticiones muestra puntual - nitrógeno amoniacal - pH - sólidos sedimentables - temperatura
Residuos	b1	1 muestra sedimentos homogenizada	- plomo - cromo total
	b2	1 muestra homogenizada por método de cuarteo	
	b3	1 muestra sedimentos homogenizada	
Emisiones	c1	2 repeticiones de 1 hora (emisión)	- dióxido de nitrógeno (NO ₂)
	c2	2 repeticiones de 1 hora (emisión)	
	c3	1 repetición de 1 hora (inmisión)	

**Cuando se habla de repeticiones en las muestras de agua, éstas se realizaron en días diferentes y no se espera que los valores sean parecidos.

Fuente: elaboración propia

Puntos de muestreo: a1 y a2/a3

1. Se tomó una muestra en intervalos de 30 minutos durante las 8 horas de jornada (de 9:00 - 17:00).

El volumen de muestra fue constante, de 1 L para todos los intervalos. Y esta se tomó de la parte superficial del buzón según se muestra en la **Figura 7** (La figura también sirve como diagrama del punto a1 y la forma como se tomó la muestra compuesta).

La muestra para cada intervalo fue tomada con una botella plástica, la misma botella plástica que al final de la jornada sería usada para almacenar la muestra compuesta.

2. En cada intervalo de muestra se vaciaron 200 mL en un vaso precipitado.
3. Dentro del vaso precipitado se tomó la medida multi paramétrica (pH, temperatura y conductividad), se anotaron los valores.
4. Se vertió la muestra restante en la botella (aproximadamente 800 mL) a un balde plástico de 20 litros.
5. Se repitió el paso 2 - 4 para cada uno de los intervalos mencionados; transcurridas las 8 horas de muestreo, se obtuvieron 16 muestras parciales y una muestra puntual.
6. Se homogenizó la muestra compuesta contenida en el balde plástico de 20 L y se llenó una botella plástica de 1 L debidamente etiquetada.
7. La muestra puntual fue tomada durante el intervalo con un caudal constante y alto (carga máxima) o donde la muestra parcial mostraba valores excesivos de conductividad.
8. Se tomó la muestra directamente en una botella plástica de un litro; esta muestra se tomó hasta llenar por completo la botella.

9. El resto de muestra del balde de 20 L que no fue utilizada, fue devuelta a la alcantarilla.
10. Ambas botellas de 1 L, muestra compuesta y puntual, fueron enviados al laboratorio para que se analice los parámetros (ver **Tabla 7**).

Este método se aplicó en los puntos de muestreo: a1, a2/a3. Se realizaron 3 repeticiones en 3 días diferentes. Adicional al muestreo, se llevó un registro del caudal aproximado durante todo el día. El registro se realizó según el siguiente método:

Medición de caudal: a1 y a3

1. Se registró, por separado, cada momento donde caía agua del punto a1 y a3.
2. En el momento de inicio se utilizaba el cronómetro para medir cuánto tiempo era continuo el caudal.
3. A la misma vez, haciendo uso de una botella de 1 L, esta se colocaba debajo de la caída de agua y se medía el tiempo que tardaba en llenarse.
4. Con el tiempo que transcurría en llenar la botella de 1 L se calculó el caudal para ese momento.
5. Teniendo el tiempo promedio que ese caudal era constante, se obtuvo un valor de volumen de agua escurrido.

Cada muestra (y las repeticiones) fueron tomadas en un día específico, a continuación se listarán los días en los que se tomaron las muestras para cada uno de los puntos mencionados en la **Tabla 7**.

Efluentes:

Día 1: miércoles 08 de mayo del 2019

Día 2: jueves 09 de mayo del 2019

Día 3: martes 14 de mayo del 2019

Se estableció tomar mediciones en tres días diferentes con el fin de comprobar lo variable que es la actividad en el LASPAF. Con la ayuda de los registros de ingreso de muestras, se comprobó que la carga laboral en el laboratorio para estos días fuera representativo del promedio de carga laboral.

Matriz suelo:

Todas las muestras fueron tomadas el día martes 21 de mayo del 2019

Debido a que no se espera ningún tipo de variación según el día que se tomen las muestras de suelos y sedimentos, se optó por tomar las muestras en un mismo día.

Matriz aire:

Día 1: jueves 23 de mayo del 2019

Día 2: viernes 24 de mayo del 2019

El equipo para monitorear la calidad del aire (NO₂) se alquiló por dos días, previamente, se coordinó con los trabajadores del laboratorio para que en los días que se alquilara el equipo, se estuviera realizando la digestión ácida de muestras tejido vegetal y de suelo, para lograr tener un registro de ambos.

3.3. Comparación de resultados con normativa vigente y detección de puntos críticos

En cuanto a los sólidos, como se ha mencionado previamente, se ha utilizado el reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Decreto Supremo N°014-2017-MINAM), específicamente el anexo III como guía para poder identificar los residuos sólidos que podrían ser peligrosos. En cuanto a la normativa de comparación, al no existir normativas nacionales que regulen los niveles de toxicidad de un residuo sólido peligroso, se acudió a la normativa de la EPA 1311: *Determinación de características de toxicidad por lixiviación* (Test TCLP).

En cuanto a las emisiones atmosféricas, al no contar con Límites Máximos permisibles que puedan ser aplicados al tipo de trabajo que se realiza en el LASPAF, se utilizaron Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aprobado por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM para comparar con los resultados del punto c3.

El monitoreo de aire se realizó durante los periodos en los que se estaban utilizando las campanas de extracción y durante el periodo completo de digestión (entre 1 y 3 horas). Para el caso del punto c3, se utilizó el promedio horario de NO₂ según los ECA aire aprobado por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. En los anexos de esta norma se indican los periodos de muestreo comprendidos para cada uno de los contaminantes de aire. En caso de dióxido de azufre, este deberá ser medido durante un periodo de 24 horas y la concentración no deberá de superar la concentración de 250 µg/m³. Por otro lado, el dióxido de nitrógeno deberá ser medido por un periodo de 1 hora y la concentración no deberá de superar el valor de 200 µg/m³. Los datos del punto c3 serían de esta forma, directamente comparables con los del ECA aire.

En el caso de los efluentes, los parámetros analizados se encuentran listados en la **Tabla 7**, estos están en función del Anexo I y II del Decreto Supremo que Aprueba los Valores Máximos Admisibles (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA). Así como también de la naturaleza de los ensayos que son realizados en el laboratorio. Tal decisión se tomó, ya que en la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) no se pudo encontrar una clasificación para las actividades que se realizan en el laboratorio. Para determinar las concentraciones de los metales se usó los mismos equipos con los que cuenta el LASPAF. Adicionalmente, se ha visto conveniente utilizar la Ley 10/1993, del 26 de octubre, sobre

vertidos líquidos industriales al sistema integral de Saneamiento de la comuna de Madrid para comparar los límites máximos permisibles de conductividad, los cuales la normativa peruana no incluye.

3.4. Generación de propuestas para reducir, tratar y mejorar la gestión de: efluentes, residuos y emisiones

Finalmente, con todos los datos recopilados se planteó soluciones al manejo de las sustancias químicas producidas en el LASPAF. Esto se logró mediante la elaboración de una serie de propuestas puntuales para el mejoramiento de la gestión de las sustancias químicas producidas por el laboratorio. Algunas propuestas plantean trabajar en conjunto con el Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) de la UNALM y la Oficina de Gestión Ambiental (OGA) de la UNALM en el marco del programa “*Agraria Sostenible*”. Mientras que otras propuestas planteadas buscan implementar procesos de tratamiento de ciertos contaminantes o la disminución o sustitución de los mismos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de procesos del laboratorio LASPAF

La **Figura 8** es un gráfico circular con sub gráfico que ha sido elaborado para poder identificar cuáles son los principales tipos de muestra que ingresan al laboratorio.

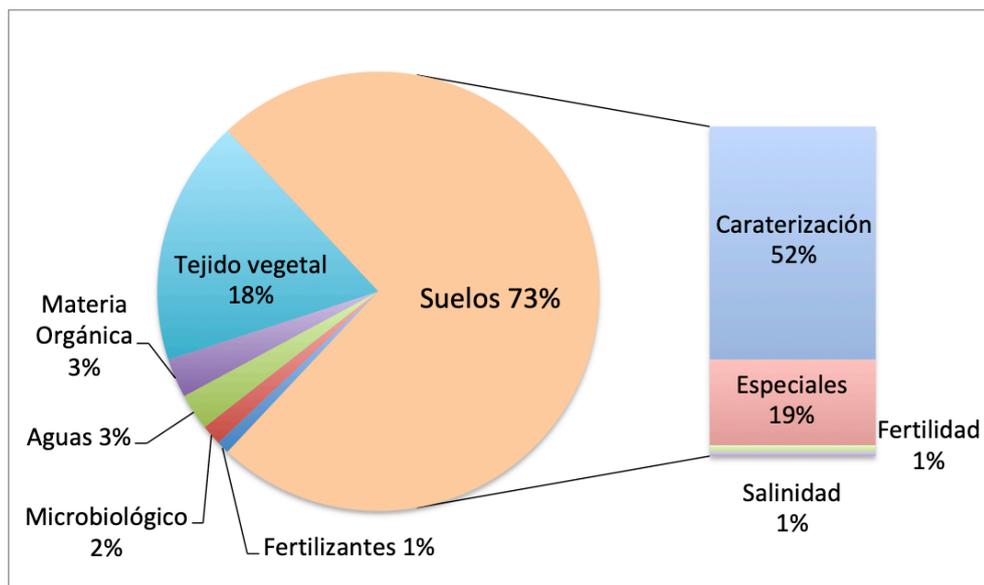


Figura 8: Porcentaje de muestras procesadas entre el 2013 - 2017 por el LASPAF dividido por tipo de análisis.

Fuente: elaboración propia

En este se puede observar como más del 90% de las muestras trabajadas son muestras de suelo o de tejido vegetal. Dentro de las muestras de suelo se hace una distinción aún más marcada entre los paquetes de caracterización, fertilidad y salinidad así como también muestras especiales. Esta clasificación se basa en la **Tabla 6** donde se indica en detalle, los parámetros que son medidos en cada uno de estos paquetes. En el caso de las muestra especiales, estas son en su mayoría muestras de suelos que no son parte de ningún paquete, sino que solo han ingresado al laboratorio para que se mida uno o dos parámetros específicos.

La **Figura 8** ha sido elaborado con los datos históricos del LASPAF obteniendo un promedio interanual de los años 2013 al 2017 (**Tabla 8**).

Tabla 8: Número de muestras analizadas para los diferentes tipos de análisis realizados en el LASPAF durante el periodo 2013-2017

Tipo de análisis	2013	2014	2015	2016	2017	Promedio Anual
Suelos	29200	26673	22776	21428	28772	25770
Fertilidad	478	532	561	485	569	525
Caracterización	21698	20558	16531	16173	16115	18215
Salinidad	226	147	325	408	518	325
Especiales	6798	5436	5359	4362	11570	6705
Aguas	1022	898	953	897	913	937
Materias orgánicas	997	939	985	1092	999	1002
Tejidos vegetales	4311	5436	5539	6556	9707	6310
Microbiológicos	623	971	598	202	235	526
Fertilizantes	311	344	390	352	232	326

Fuente: Informe de Gestión LASPAF.

Al revisar esta información e identificar los procesos predominantes dentro del LASPAF, se optó por centrar el muestreo y análisis en las muestras de suelo y tejido vegetal ya que estas representan un porcentaje de más de 90% de las muestras totales del LASPAF.

4.2. Estimación de químicos utilizados en el LASPAF

Una vez identificado los tipos de muestra que son trabajados con mayor frecuencia en el LASPAF, se procedió a hacer una revisión de los métodos que se siguen para la determinación de cada uno de los parámetros de la **Tabla 6** (específicamente para los parámetros de los paquetes de suelo y tejido vegetal). El objetivo principal fue identificar los reactivos y las cantidades que son utilizados para la determinación de un parámetro específico por cada muestra procesada. Este valor se multiplicó por el número total de muestras que son procesadas en promedio por año (**Tabla 8**), para obtener un valor anual de reactivos utilizados por cada parámetro. A continuación, se comprimieron los valores utilizados de cada reactivo sumando los valores, la información es presentada en función de cuánto de un reactivo se utiliza en el LASPAF en promedio, por año. Esta información es presentada en dos tablas separadas, la primera, para los análisis de suelos y la segunda para los análisis de muestras de tejidos vegetales.

La **Tabla 9**, presentada en la próxima página, es una lista donde se ha estimado el consumo de cada reactivo utilizado en el análisis de las muestras de suelo (sin contar los análisis especiales, ya que no se tiene mayor información de qué análisis solicitó el cliente). De esta lista, cabe resaltar la importancia del: ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, ácido bórico, sulfato de cobre, dicromato de potasio, sulfato ferroso, ácido ascórbico, acetato de amonio e hidróxido de amonio. La relevancia de estos compuestos en esta investigación se debe a la relativa acidez o alcalinidad de la sustancia, su toxicidad al ser humano o al ambiente y la presencia de alguno de sus elementos dentro de los Valores Máximos Admisibles (VMA) o Estándares de Calidad ambiental (ECA). Entre los reactivos de mayor preocupación, se encuentra el ácido sulfúrico y el dicromato de potasio.

Tabla 9: Estimación de reactivos usados en un año para procesar muestras de suelo

Reactivo	Fórmula química	Unidad	Promedio Anual
Acetato de amonio	CH ₃ COONH ₄	kg	100
Ácido acético	CH ₃ COOH	L	59.2
Ácido ascórbico	C ₆ H ₈ O ₆	g	185.4
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	kg	8.2
Acido clorhídrico Q.P.	HCl	L	37.1
Ácido sulfúrico 95%	H ₂ SO ₄	L	248.6
Alcohol etílico 95%	C ₂ H ₅ OH	L	2503
Bicarbonato de sodio	NaHCO	kg	15.7
Carbón activado	C	kg	1.9
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃	kg	1.5
Cloruro de potasio	KCl	kg	104.5
Cloruro de sodio	NaCl	kg	6.7
Curcumina	C ₂₁ H ₂₀ O ₆	g	1.1
Dicromato de potasio	K ₂ Cr ₂ O ₇	kg	18.4
Difenilamina sulfúrica	C ₁₂ H ₁₁ N	g	23.2
EDTA	C ₁₀ H ₁₆ N ₂ O ₈	g	24.2
Fenoltaleina	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	g	12.1
Fluoruro de amonio	NH ₄ F	g	2.4
Fluoruro de sodio	NaF	kg	7.4
Formaldehido 37%	CH ₂ O	L	37.1
Fosfato de calcio	Ca ₃ (PO ₄) ₂	g	16.5
Fosfato de potasio monobásico	KH ₂ PO ₄	kg	1.2
Glicerol	C ₃ H ₈ O ₃	g	114.6
Hexametáfosfato de sodio	NaPO ₃	kg	7
Hidróxido de amonio	NH ₄ OH	L	69.2
Hidróxido de sodio	NaOH	kg	46.1
Metanol	CH ₃ OH	kg	2.9
Molibdato de amonio	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	g	185.4
Oxido de lantano	La ₂ O ₃	g	445.5
Reactivo de Nessler	HgI ₄ K ₂	L	2.8
Rojo de metilo	C ₁₅ H ₁₅ N ₃ O ₂	g	0.3
Selenio	Se	g	11.3
Sulfato de cobre	CuSO ₄	g	113.1
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	kg	1.7
Sulfato ferroso	FeSO ₄ .7H ₂ O	g	10.3
Superfloc® 127	N.A.	g	0.5
Tartrato doble de antimonio y potasio	C ₈ H ₄ K ₂ O ₁₂ Sb ₂ .3H ₂ O	g	4.4
Verde bromocresol	C ₂₁ H ₁₄ Br ₄ O ₅ S	g	0.2

Nota: No se han considerado los muestras especiales, ya que no se sabe con exactitud los parámetros que fueron solicitados. Se toma en cuenta los paquetes de: caracterización, salinidad y fertilidad.

Fuente: elaboración propia

La **Tabla 10**, es nuevamente una lista donde se ha estimado el consumo de cada reactivo, utilizada en el análisis de las muestras de tejidos vegetales. En este caso, cabe resaltar la importancia del: ácido acético, ácido bórico, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido perclórico, dicromato de potasio, cromato de potasio, hidróxido de sodio y sulfato ferroso. En este caso los ácidos mencionados no solo causan preocupación por su pH extremadamente bajo, pero también por su amplias magnitudes. De los resultados de la **Tabla 10**, se espera encontrar valores de pH en las muestras de agua predominantemente ácidas.

Tabla 10: Estimación de reactivos usados en un año para procesar muestras de tejidos vegetales

Reactivo	Fórmula química	Unidad	Promedio Anual
Ácido acético	CH ₃ COOH	L	22.1
Ácido amino-naftol-sulfónico	C ₁₀ H ₉ NO ₄ S	g	9.7
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	kg	2.5
Acido clorhídrico Q.P.	HCl	L	44.2
Ácido nítrico	HNO ₃	L	78.9
Ácido perclórico	HCIO ₄	L	15.8
Ácido sulfúrico Q.P.	H ₂ SO ₄	L	84.3
Alcohol etílico 95%	C ₂ H ₅ OH	mL	9.5
Azul de metileno	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S	g	0.9
Cloruro de bario	BaCl	g	220.9
Cromato de potasio	K ₂ CrO ₄	g	315.5
Curcumina	C ₂₁ H ₂₀ O ₆	g	22.1
Dicromato de potasio	K ₂ Cr ₂ O ₇	kg	6.2
Difenilamina sulfúrica	C ₁₂ H ₁₁ N	g	9.5
Disulfito de sodio	Na ₂ S ₂ O ₅	g	58.2
Fenoltaleina	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	g	31.6
Gelatina		g	6.3
Glicerol	C ₃ H ₈ O ₃	kg	2.2
Hidróxido de sodio	NaOH	kg	31.6
Metanol	CH ₃ OH	L	56.8
Molibdato de amonio	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	g	126.2
Nitrato de plata	AgNO ₃	g	53.6
Oxido de lantano	La ₂ O ₃	g	151.6
Rojo de metilo	C ₁₅ H ₁₅ N ₃ O ₂	g	0.9
Selenio	Se	kg	3.155
Sulfato ferroso	FeSO ₄ ·7H ₂ O	kg	2.9
Sulfito de sodio	Na ₂ SO ₃	g	58.2

Fuente: elaboración propia

4.3. Cuantificación de residuos peligrosos, emisiones y efluentes en el LASPAF

4.3.1. Residuos sólidos peligrosos

Las muestras de los puntos S-b1, S-b2 y S-b3 son muestras de residuos sólidos que fueron sometidas a una prueba de nivel de toxicidad de metales pesados (plomo y cromo) para luego ser comparados con los valores del nivel regulatorio para evaluar la toxicidad característica del lixiviado (SW-846 EPA 1311). Como se mencionó en los métodos, el punto S-b1 y S-b2 son muestras de sedimentos que coinciden con las muestras de agua del punto a1 y a2/a3 respectivamente. Por otro lado, el punto S-b3 es una muestra homogenizada del suelo que fue tamizado luego de ingresar al laboratorio. Al no contar éste con las características de una muestra de suelo como tal, se ha clasificado esta muestra, junto con los otros dos puntos (S-b1 y S-b2), como residuos sólidos potencialmente peligrosos.

Todos los resultados de los sólidos han sido adjuntados al presente documento, en el Anexo 9 y Anexo 10.

En la **Tabla 11** se puede apreciar las coordenadas UTM para los puntos de muestreo de residuos sólidos.

Tabla 11: Coordenadas UTM de puntos de muestreo residuos sólidos (b1, b2 y b3)

Matriz	Punto	Coordenadas UTM WGS84 E	Coordenadas UTM WGS84 N	Descripción
Residuos	b1	287916	8663395	Este punto de muestreo se encuentra en el área 2 del LASPAF, dentro del buzón de alcantarillado. Este buzón tiene una profundidad aproximada de 50cm que sirve como trampa de sólidos, sin embargo la trampa no ha sido limpiada hace por lo menos 5 años y se encuentra llena de sedimentos (ver Figura 1).
	b2	287979	8663397	Este punto se encuentra ubicado fuera del área del LASPAF. Es el lugar donde se deposita los residuos sólidos generados por el laboratorio. Éstos se encuentran apilados en un montículo sobre los campos experimentales de agronomía (ver Figura 2).
	b3	287995	8663474	Ubicado en el área 1 del LASPAF, se encuentra en el buzón de alcantarillado donde se vierten efluentes del punto a2 y a3. Cumple la función de ser una pequeña trampa de sólidos sedimentables con una profundidad aproximada de 20 cm.

Fuente: elaboración propia

La **Figura 9** muestra el mapa de la ubicación de los puntos listados en la **Tabla 11**. También, se delimita con una línea roja el área del LASPAF.



Figura 9: Mapa de ubicación de puntos de muestreo de residuos sólidos (b1, b2 y b3).

Fuente: elaboración propia

La **Figura 10** muestra los resultados de lixiviación de cromo para las muestras S-b1, S-b2 y S-b3. Los resultados son comparados con los valores del nivel regulatorio para evaluar la toxicidad característica del lixiviado (SW-846 EPA 1311), donde el valor para cromo, con lo cual puede ser considerado un residuo peligroso es de 5 mg/L (Anexo 11). Como era de esperarse, en el punto S-b3, ubicado dentro de la caja de alcantarilla donde se reciben los efluentes del análisis de la materia orgánica en el suelo (Método de Walkley y Black) se ha registrado un valor que excede los límites para cromo. Esto hace que los sedimentos del punto S-b3 sean residuos peligrosos y deban ser tratados como tales. Los otros dos puntos muestras valores leves, por debajo del mismo límite por lo que no pueden ser considerados residuos peligrosos según los niveles regulatorios para evaluar la toxicidad característica del lixiviado.

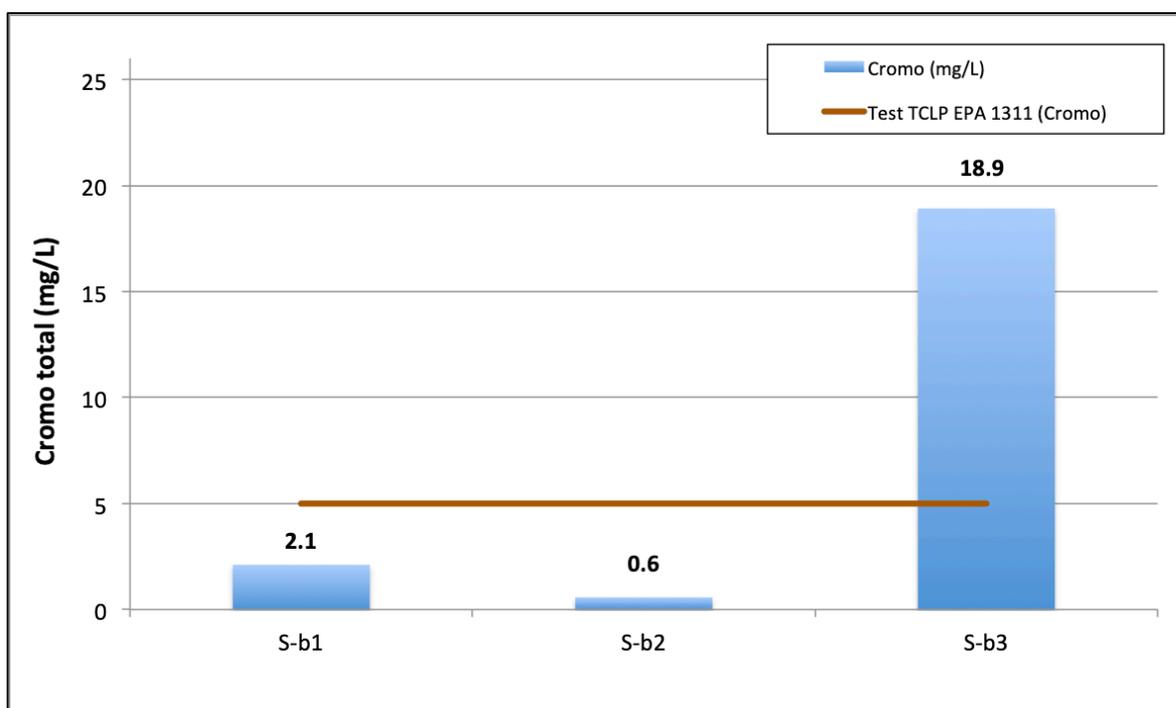


Figura 10: Valores de cromo total en muestras de residuos sólidos recolectadas en el punto b1, b2 y b3 comparados con el EPA 1311.

Fuente: elaboración propia

A diferencia del cromo total, el plomo no superó en ninguna de las muestras los valores del nivel regulatorio para evaluar la toxicidad característica del lixiviado (SW-846 EPA 1311). No obstante, la muestra S-b2 presenta valores superiores a las muestra S-b1 y S-b3, esto se podría deber a que una pequeña fracción de las muestras de suelo procesadas en el laboratorio ya estuvieran contaminadas por plomo desde la fuente y esta fuera traída para ser analizada. No obstante, la diferencia no es significativa como para poder asegurar que este fuera el caso. Además, los valores no están cerca de los valores regulatorios que establece los niveles regulatorios para evaluar la toxicidad característica del lixiviado (Anexo 11).

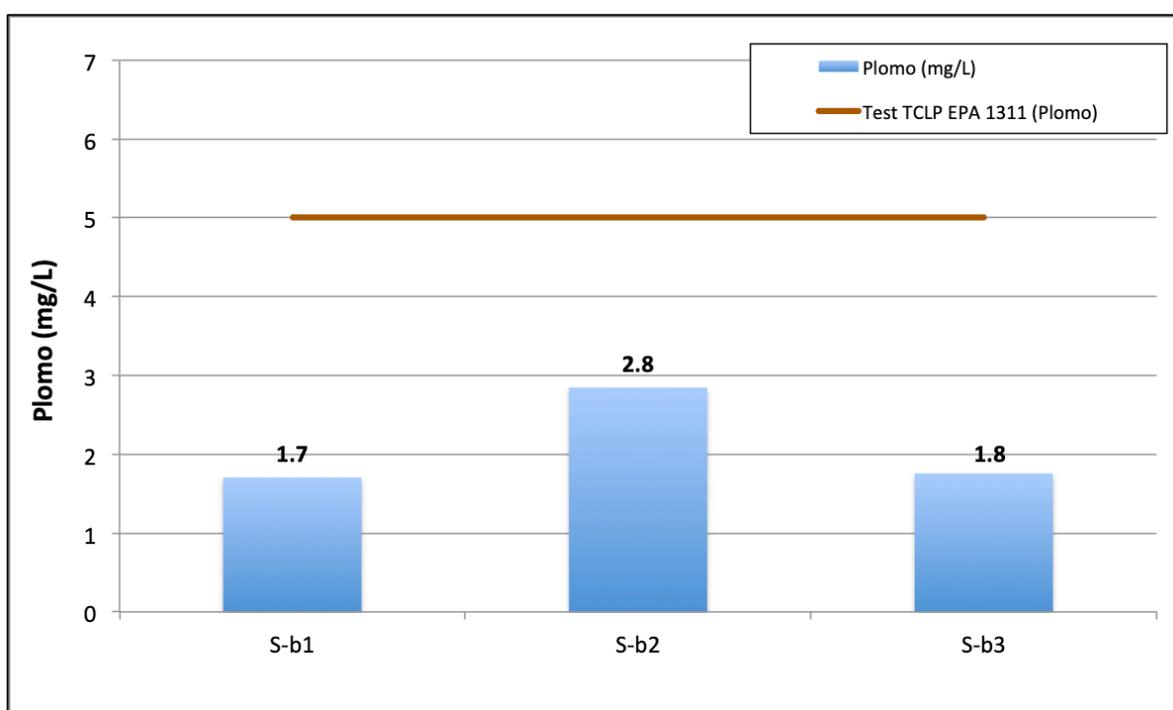


Figura 11: Valores de plomo en muestras de residuos sólidos recolectadas en el punto b1, b2 y b3 comparados con el EPA 1311.

Fuente: elaboración propia

Con estos resultados, se puede concluir que el único residuos sólido peligrosos hallado en el LASPAF, además de los envases vacíos de reactivos y los envases de reactivos vencidos, son los sedimentos del punto S-b3 por su alto contenido de cromo. Debido a los métodos que se trabajan en el laboratorio y al tipo de muestras que éste recibe, no se consideró necesario analizar el resto de metales pesados mencionados en la EPA 1311 (Anexo 11).

4.3.2. Emisiones atmosféricas

Para las emisiones atmosféricas se han registrado mediciones de NO₂. Los puntos c1 y c2 se han ubicado a la salida de las chimenea del área 2 (punto c1) y área 1 (punto c2), respectivamente. El objetivo inicial de este monitoreo fue el de registrar la emisión de cada una de estas chimeneas; se midieron las emisiones durante los periodos en los que la campana de extracción estaba siendo utilizada para realizar la digestión ácida, en el caso del punto c1, se procesaron 33 muestras de suelo y para el punto c2, 80 muestras de tejidos vegetales.

En la **Tabla 12** se puede apreciar las coordenadas UTM para los puntos de muestreo de emisiones atmosféricas.

Tabla 12: Coordenadas UTM de puntos de muestreo de emisiones (c1, c2 y c3)

Matriz	Punto	Coordenadas UTM WGS84 E	Coordenadas UTM WGS84 N	Descripción
Emisiones	c1	287921	8663399	Punto ubicado en el techo del área 2 del LASPAF mide la emisión de la chimenea de la campana de extracción del área 2 (ver Figura 3)
	c2	288006	8663485	Punto ubicado en el techo del área 1 del LASPAF mide la emisión de la chimenea de la campana de extracción del área 1.
	c3	288024	8663494	Punto ubicado en el techo del área 1 del LASPAF mide la inmisión de la chimenea de la campana de extracción del área 1. Está ubicado a 20 m del punto c2 en dirección del viento.

Fuente: elaboración propia

En la siguiente página se presente la **Figura 9** donde se muestra un mapa de ubicación de los puntos listados en la **Tabla 12**. Además, se delimita con una línea roja el área del LASPAF.



Figura 12: Mapa de ubicación de puntos de muestreo de emisiones atmosféricas (c1, c2 y c3).

Fuente: elaboración propia

La **Figura 13**, muestra los valores registrados en el punto c1, se tomaron mediciones de la fuente de emisión durante el periodo de una hora. Este punto registró las emisiones de esta fuente de contaminación a la salida de la chimenea. Las muestras ingresaron al proceso a las 11:30 y a las 11:47 ya se podía apreciar un aumento significativo de los niveles de NO₂. Se registró un valor máximos de 28.6 mg/m³ a las 11:59. No existe normativa vigente que aplique a las actividades específicas del LASPAF, por esta razón, no se ha podido comparar los resultados de emisión obtenidos con algún valor límite.

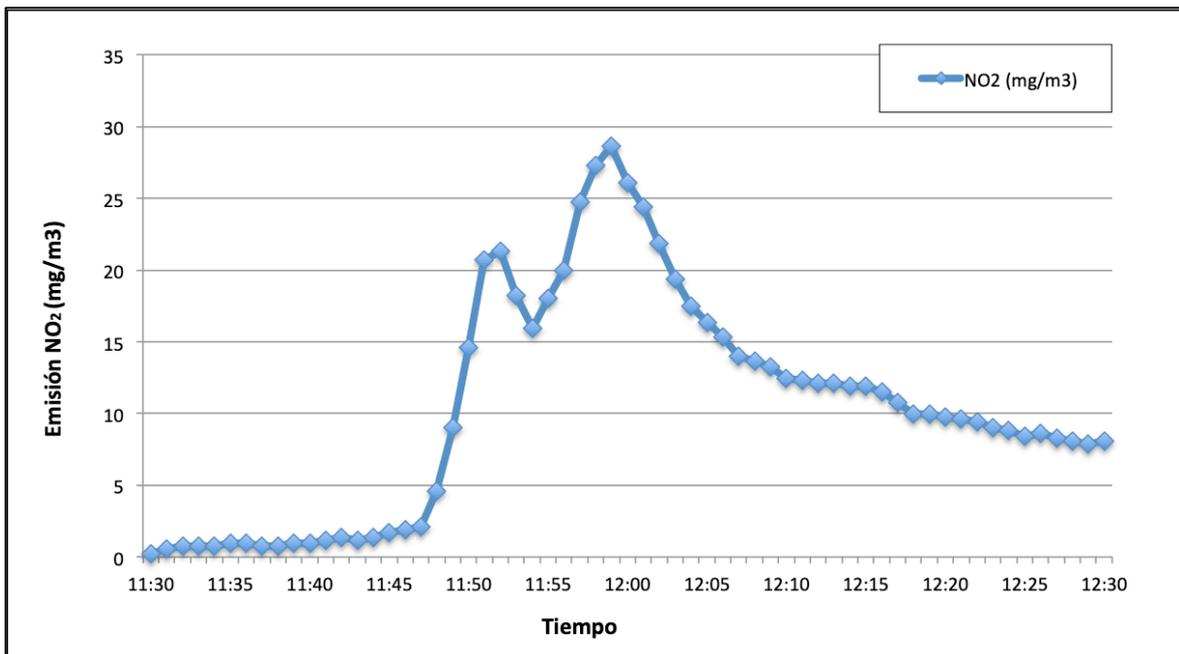


Figura 13: Variación horaria de las emisiones de NO₂ en el punto c1.

Fuente: elaboración propia

La **Figura 14** fue generada con los resultados de las mediciones tomadas en el punto c2 para el intervalo total de 5 horas. En este tiempo, se procesaron en total 80 muestras en 2 lotes de 40 muestras cada una. El primer lote ingresó a las 11:13; 7 minutos después, a las 11:20, se había alcanzado el límite de medición del equipo (96 mg/m^3). Esto se mantuvo aproximadamente por una hora, hasta las 12:11. El segundo lote ingresó a las 13:30, 6 minutos después, a las 13:36, se había alcanzado el límite de medición del equipo (96 mg/m^3). Estas mediciones se mantuvieron por un poco más de 2 horas, hasta las 15:40.

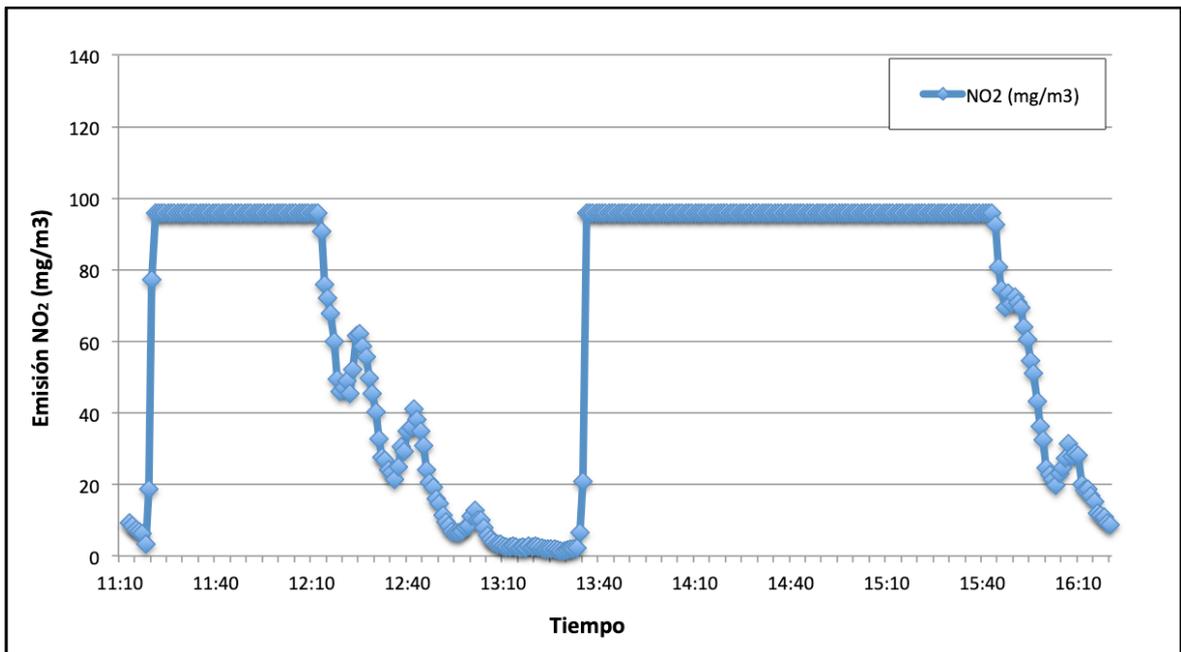


Figura 14: Variación durante 5 horas de las emisiones de NO₂ en el punto c2.

Fuente: elaboración propia

El punto de monitoreo c3 se ubicó a 20 metros de distancia del punto c2 en la dirección predominante que sopla el viento en ese momento (aproximadamente 33° NE). Estas mediciones, de calidad de aire, fueron utilizadas para generar la **Figura 15**. Estos datos son comparables con los valores establecidos por el D.S. N° 003-2017-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental del aire ya que para el monitoreo se ha cumplido con las especificaciones establecidas en el “*Protocolo de monitoreo de la calidad de aire*” de la DIGESA (2005). Usando los ECA, se ha encontrado que las concentraciones horarias de NO₂ sobrepasan los estándares establecidos por un factor de 10 veces más.

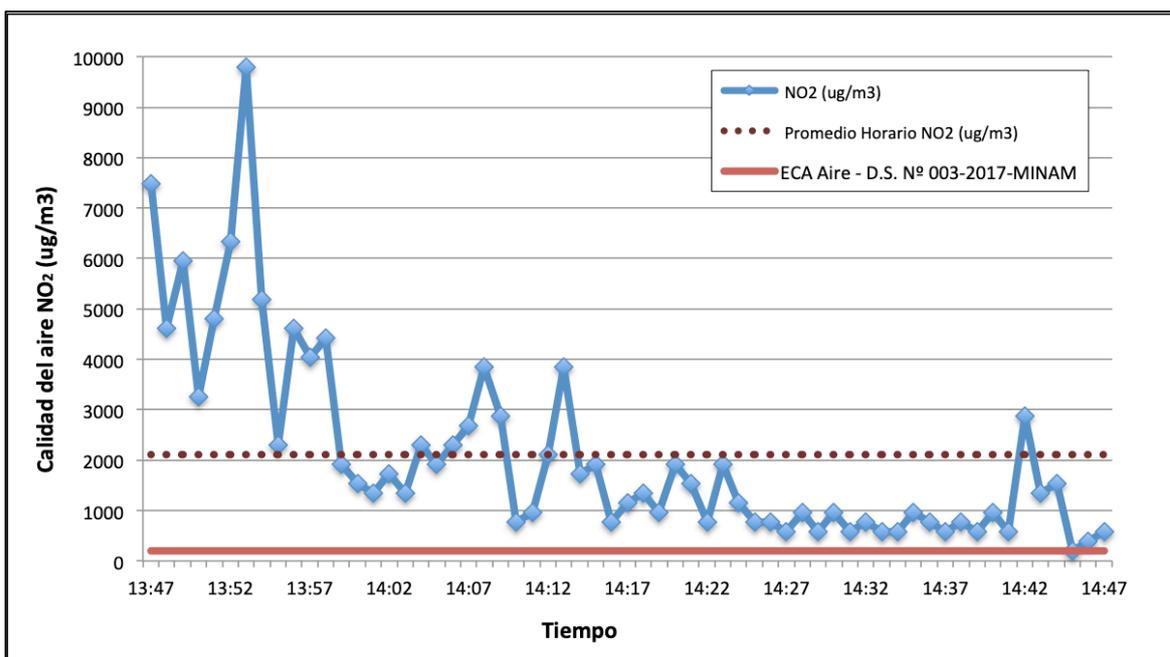


Figura 15: Variación horarios de la calidad del aire en términos de NO₂ datos medidos durante 1 hora y comparados con los ECA de aire.

Fuente: elaboración propia

v

Cabe señalar que el equipo utilizado para medir el NO₂ funciona a base de un sensor electroquímico, y este no tiene un nivel de precisión tan alto como el método por quimioluminiscencia indicado en el Anexo I de los ECA del aire. No obstante, siendo los valores registrados 10 veces más altos que los ECA del aire, se puede esperar que si se utilizara el método por quimioluminiscencia, los resultados superarían los ECA del aire. Dado los altos niveles de NO₂ registrados, especialmente en el punto c2 y c3, sería altamente factible realizar un modelamiento de las emisiones de esta chimenea. Posteriormente, una vez implementado los métodos de tratamiento, se podría elaborar otro modelo en donde se compare la eficiencia de la medida adoptado.

4.3.3. Efluentes

A continuación se presentan los resultados de los días: 09 de mayo del 2019 (Día 1), 14 mayo del 2019 (Día 2) y 15 de mayo del 2019 (Día 3). El punto a1 se encuentra ubicado dentro del área 2 (Anexo 3); las principales actividades realizadas en esta áreas son la determinación de textura del suelo y ocasionalmente nitrógeno Kjeldahl. El punto a2 y a3 se encuentran en el área 1 (Anexo 2) donde se realizan la mayoría de análisis del Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7. Para cada día se realizaron: estimaciones del caudal (punto a1 y a3), mediciones *in situ* (temperatura, pH y conductividad), toma de muestras puntuales y compuestas, medición de parámetros *ex situ* de estas dos últimas (según los parámetros de la **Tabla 7**).

En la **Tabla 13** se puede apreciar las coordenadas UTM para los puntos de muestreo de efluentes.

Tabla 13: Coordenadas UTM de puntos de muestreo de efluentes (a1, a2 y a3)

Matriz	Punto	Coordenadas UTM WGS84 E	Coordenadas UTM WGS84 N	Descripción
Efluentes	a1	287915	8663396	Ubicado en el área 2 del LASPAF, por este punto pasa los efluentes del lavamanos donde se vierten los residuos de la prueba de textura.
	a2	287996	8663474	Ubicado en el área 1 del LASPAF, por este punto pasan los efluentes de dos lavamanos. Ambos son utilizados para el lavado de equipos, el segundo lavamanos (que se encuentra más cercano al punto de muestreo) es el que tiene un mayor uso.
	a3	287995	8663474	Ubicado en el área 1 del LASPAF, por este punto pasan los efluentes de 6 lavamanos, sin embargo de estos solo 4 pertenecen al LASPAF. Los otros 2 pertenecen al laboratorio de investigación de al lado. De los 4 lavamanos, principalmente se utilizan los dos más lejos al buzón para el lavado de los equipos.

Fuente: elaboración propia

En la siguiente página se presente la **Figura 16** donde se muestra un mapa de ubicación de los puntos listados en la **Tabla 13**. Además, se delimita con una línea roja el área del LASPAF.



Figura 16: Mapa de ubicación de puntos de muestreo de efluentes (a1, a2 y a3).

Fuente: elaboración propia

4.3.3.1. Parámetros *in situ* de muestras compuestas

Se tomaron mediciones *in situ* de muestras simples que fueron recolectadas para generar las muestras compuestas. Los parámetros medidos *in situ* fueron: temperatura, pH, y conductividad. No se han presentado los gráficos de temperatura ya que esta no tiene mayor variación y se encuentran muy por debajo de los VMA (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA). A continuación se muestran las gráficas para los parámetros mencionados; para los resultados de pH y conductividad.

La **Figura 17** muestra los resultados de la estimación del caudal del efluente producidos por el LASPAF, se puede apreciar cómo estos son altamente variables entre diferentes días, debido a que la actividad en el laboratorio es también altamente variable.

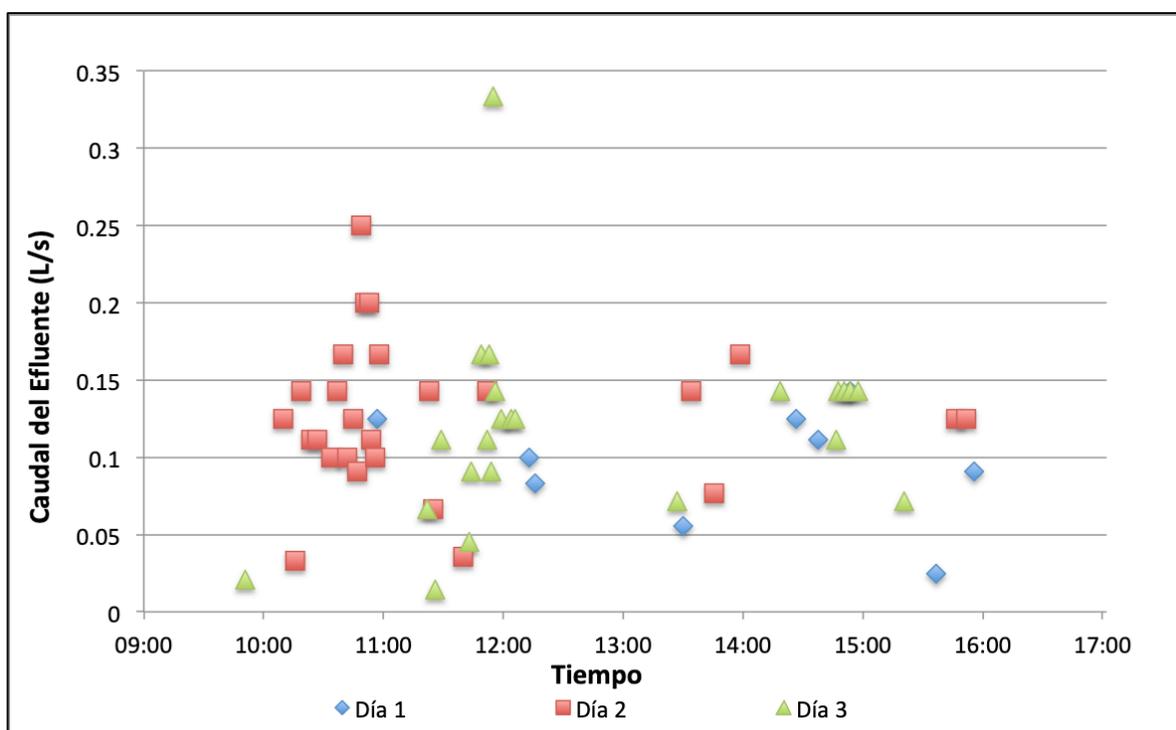


Figura 17: Variaciones diurnas del caudal de efluente para el punto a1 medido durante 3 días diferentes.

Fuente: elaboración propia

De forma similar a la alta variabilidad que se puede observar en los caudales del efluente de este punto, el pH es también altamente variable (**Figura 18**). Se presentan días, como el Día 1 donde la variación es prácticamente nula y el pH se mantiene cerca de neutro y dentro del rango establecido por los VMA. Por otro lado, hay días donde el pH tiende a la acidez (Día 2) y otros donde tiende a la alcalinidad (Día 3). Hasta lo que se pudo identificar, esta acidez pareciera ser el resultado del ácido bórico y sulfúrico usado en amplias cantidades para el método de nitrógeno Kjeldahl. Por otro lado la alcalinidad se puede deber a la titulación excesiva con NaOH y el vertimiento de este sin la adecuada neutralización.

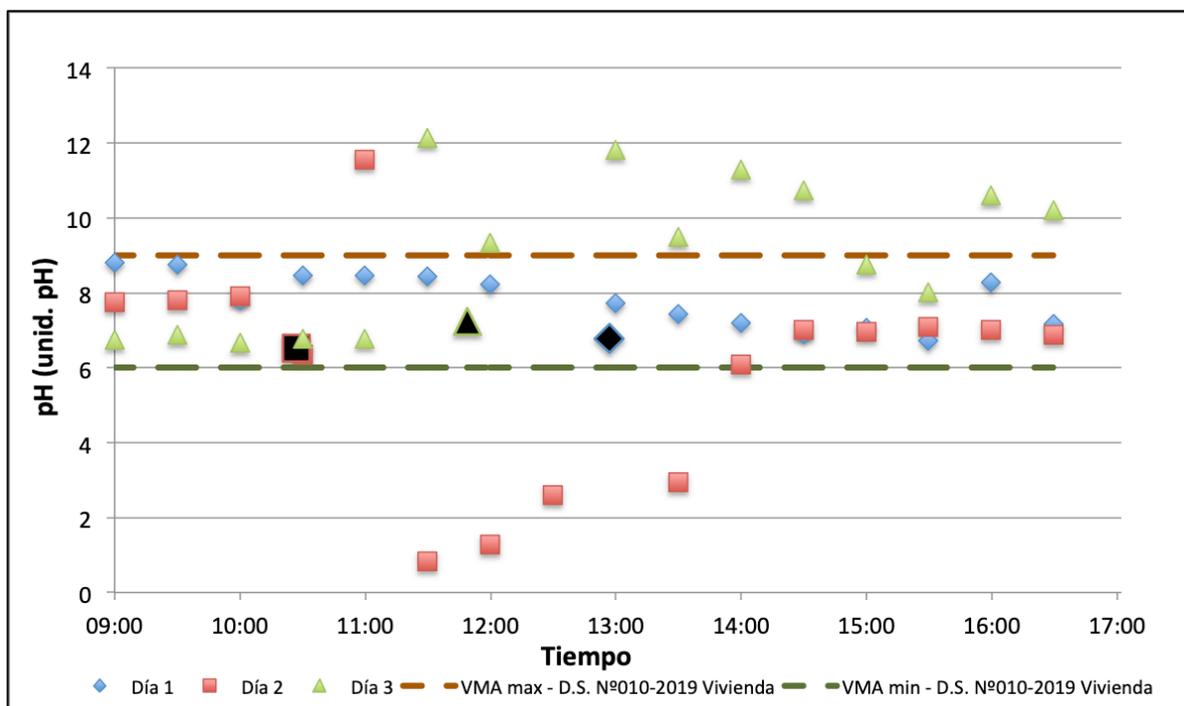


Figura 18: Variaciones diurnas del pH para el punto a1 medido durante 3 días diferentes valores comparados con VMA.

Fuente: elaboración propia

Los puntos de mayor tamaño y de color negro indican las mediciones donde se realizó la toma de muestra puntual para el posterior análisis de parámetros *ex situ*.

La **Figura 19** se presenta en escala logarítmica debido a los dos puntos extremos del Día 2 a las 11:30 y 12:00. Adicionalmente, como normativa de referencia se ha utilizado la Ley 10/1993 sobre vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento de la comuna de Madrid. Esta norma, equivalente a los VMA en Perú, establece en el Anexo II los Valores Máximos Instantáneos de los parámetros de contaminantes 7.5 mS/cm como el valor máximo de conductividad.

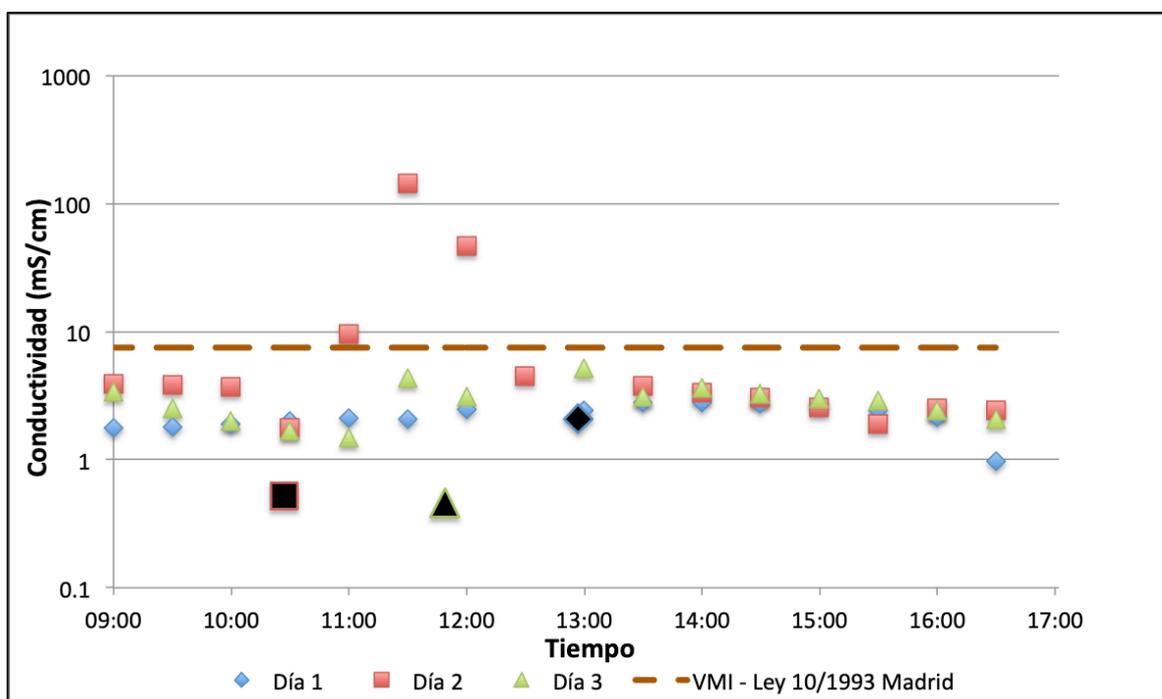


Figura 19: Variaciones diurnas de la conductividad eléctrica para el punto a1 medido durante 3 días diferentes valores comparados con VMI, escala logarítmica.

Fuente: elaboración propia

En este caso, a excepción de los puntos mencionados previamente para el Día 2 a las 11:00, 11:30 y 1:00, las muestras cumplen con la normativa. Las muestras puntuales tienen un valor en todos los casos inferior a las de los demás puntos ya que estas son tomadas directamente de la salida del efluente y no del buzón de la alcantarilla. Los puntos de mayor tamaño y de color negro indican las mediciones donde se realizó la toma de muestra puntual para el posterior análisis de parámetros *ex situ*.

La **Figura 20**, al igual que la **Figura 17**, muestra la variación diaria del caudal del efluente en el punto a3, este presenta un patrón inter diario altamente variado.

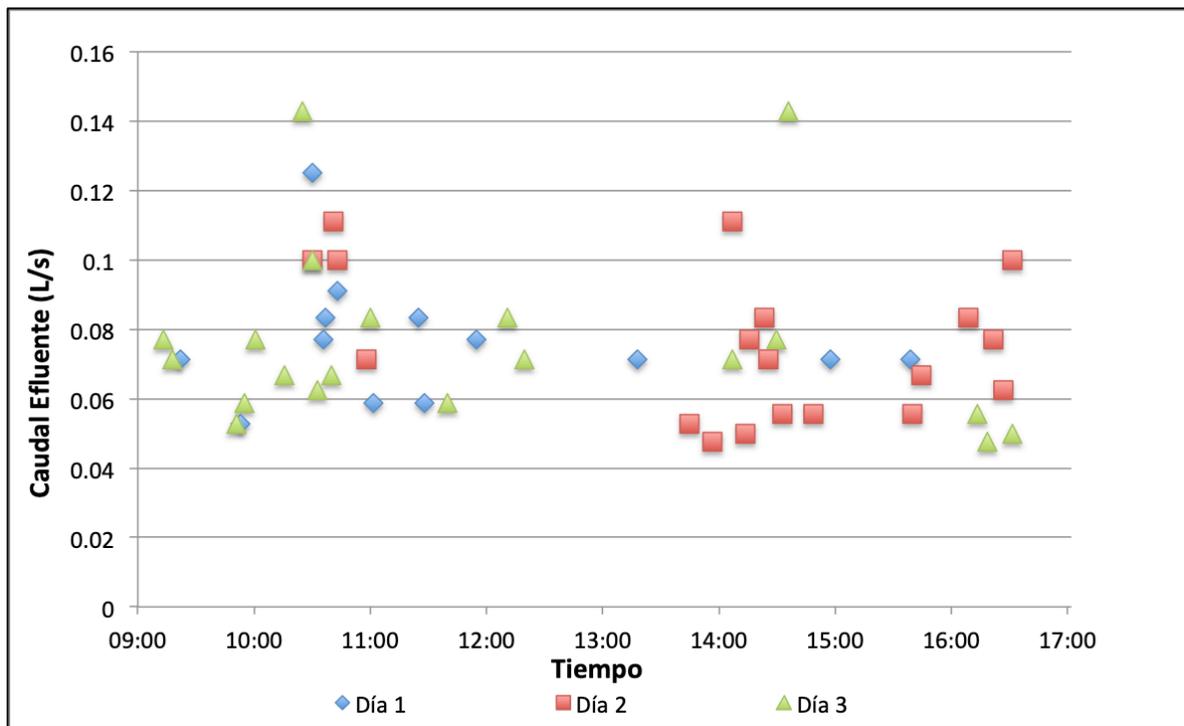


Figura 20: Variaciones diurnas del caudal de efluente para el punto a3 medido durante 3 días diferentes.

Fuente: elaboración propia

Sin embargo, como se puede apreciar en la **Tabla 14**, los volúmenes de efluente total que escurre por este punto, son cercanas a las del punto a1. Así mismo, no se puede apreciar una variación demasiado alta entre el Día 2 y 3, pero cabe resaltar que el Día 1 presentó el menor flujo de caudal de los tres días.

Tabla 14: Volumen de efluente escurrido por día muestreado y por punto a1 y a3

Punto	Día 1 (L)	Día 2 (L)	Día 3 (L)
a1	153.1	249.4	285.2
a3	106.7	275.3	209.5

Fuente: elaboración propia

La **Figura 21** muestra en el punto a2 y a3 un efluente en su mayoría completamente ácido, a excepción del Día 2 donde el pH fue variado. Existen diferentes análisis que dan como resultado este efluente tan ácido, sin embargo, el principal contaminante identificado es el ácido sulfúrico utilizado para el método de Walkley y Black para determinar la materia orgánica del suelo. Se llega a esta conclusión por los altos valores de: cromo, nitrógeno amoniacal y sulfatos que también fueron encontrados en las muestras de este punto.

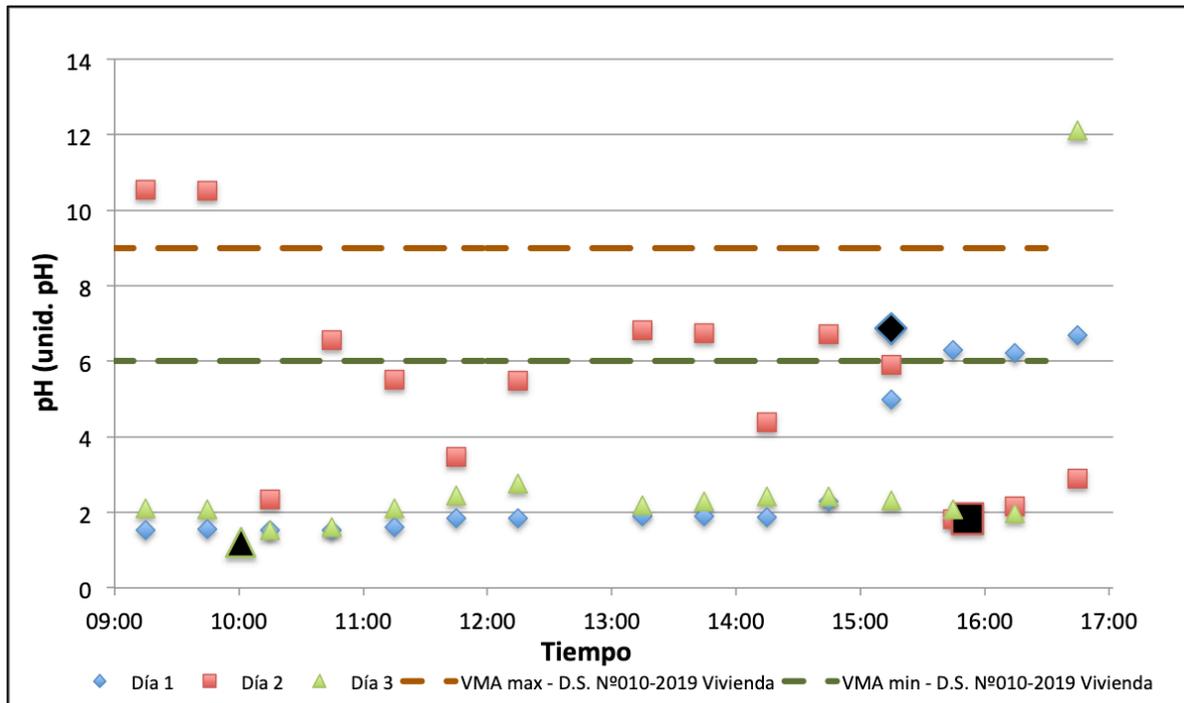


Figura 21: Variaciones diurnas del pH para el punto a2/a3 medido durante 3 días diferentes valores comparados con VMA.

Fuente: elaboración propia

Los puntos de mayor tamaño y de color negro indican las mediciones donde se realizó la toma de muestra puntual para el posterior análisis de parámetros *ex situ*.

En el caso de la conductividad, se puede apreciar en la **Figura 22** una tendencia relativamente constante en el día, salvo el Día 1 el cual tiende a decrecer; sin embargo, pareciera que el valor inicial tan alto de la conductividad se deba al efluente que se encontraba ahí presente del día anterior y este, en el transcurso del tiempo se fue ‘lavando’ con el agua utilizada durante el día.

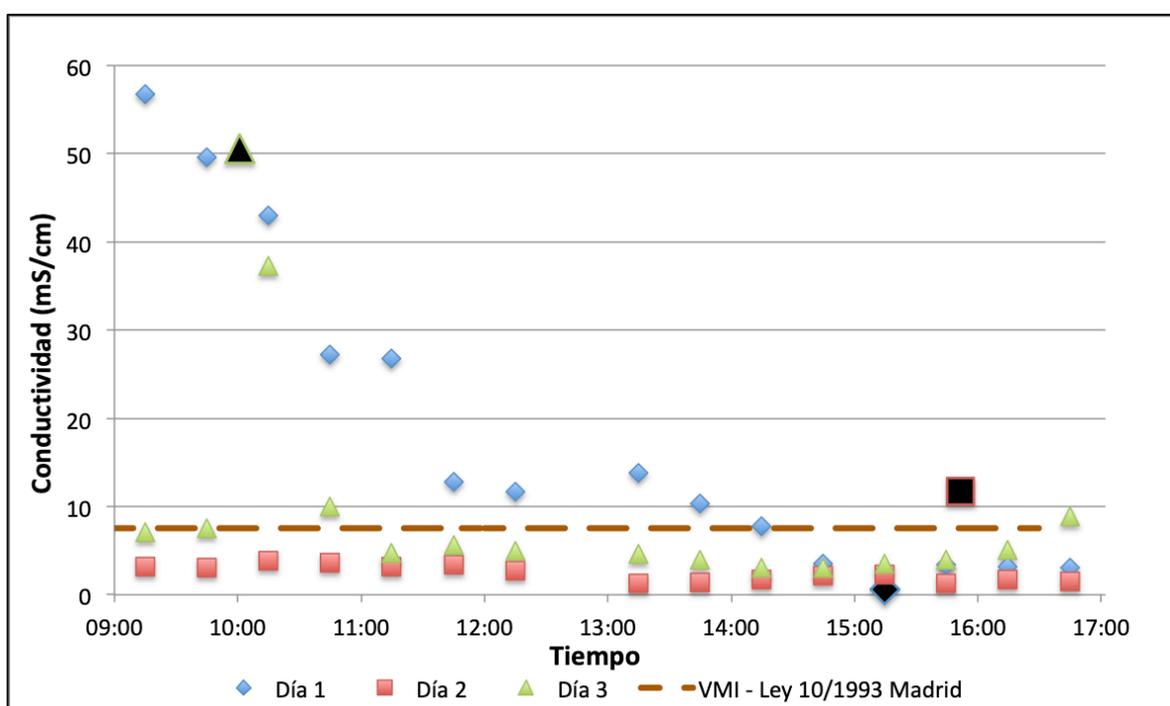


Figura 22: Variaciones diurnas de la conductividad eléctrica para el punto a2/a3 medido durante 3 días diferentes valores comparados con VMI.

Fuente: elaboración propia

A priori, se espera resultados para las muestras puntuales del Día 2 y 3 bastante altos en metales ya que su conductividad se encuentra por encima de 10 mS/cm. Por otro lado, la muestra puntual del Día 1 fue tomado en un momento de lavado del material donde cualquier posible contaminante estaría bastante diluido. Es por esa razón que en los siguientes dos días se tomó el periodo de máxima carga no cuando el caudal era mayor, sino cuando el color y conductividad indicaban mayor presencia de metales en el efluente antes de que este cayera a la poza.

Los puntos de mayor tamaño y de color negro indican las mediciones donde se realizó la toma de muestra puntual para el posterior análisis de parámetros *ex situ*.

4.3.3.2. Parámetros *ex situ* de muestras puntuales y compuestas

Como se mencionó en los métodos, los parámetros medidos en las muestras de efluente fueron determinados según el anexo 1 y 2 de los Valores Máximos Admisibles (VMA) (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA). Además, se pueden revisar los parámetros en la **Tabla 7**; los parámetros del VMA que no fueron medidos son: aluminio, arsénico, cianuro, cromo hexavalente, mercurio, níquel, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y aceites y grasas. Los metales: aluminio, arsénico, cianuro, mercurio y níquel no se midieron ya que dentro de los protocolos listados en el Anexo 5 y Anexo 6 no se identificó el uso de ninguno de estos metales como parte de los protocolos. Por otro lado, la DBO, DQO y los aceites y grasas no fueron medidos ya que el laboratorio no trabaja con cantidades significantes de materia orgánica ni tampoco con aceites y grasas.

Además, por más que se midieron, no se han presentado los resultados de cadmio, cobre, manganeso y zinc, ya que ninguno de estos metales en ninguna de las muestras sobrepasó los VMA.

Adicional a los parámetros incluidos en el VMA, también se midió la conductividad (como ya se presentó en la **Figura 19** y **Figura 22**) y se comparó con normas de la Ley 10/1993 sobre vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento de la comuna de Madrid.

Los resultados *ex situ* han sido adjuntados al presente documento en el Anexo 8, Anexo 9 y Anexo 10 para comparación y revisión por si fuera necesario.

Como ya había sido identificado en la **Figura 19** y la **Figura 22** y se vuelve a confirmar con la **Figura 23**; el punto a1 suele no tener valores de conductividad muy altos debido a que principalmente se trabaja con efluentes de la prueba de textura. Esto a excepción de la muestra compuesta del Día 2 que sí excedió los VMI.

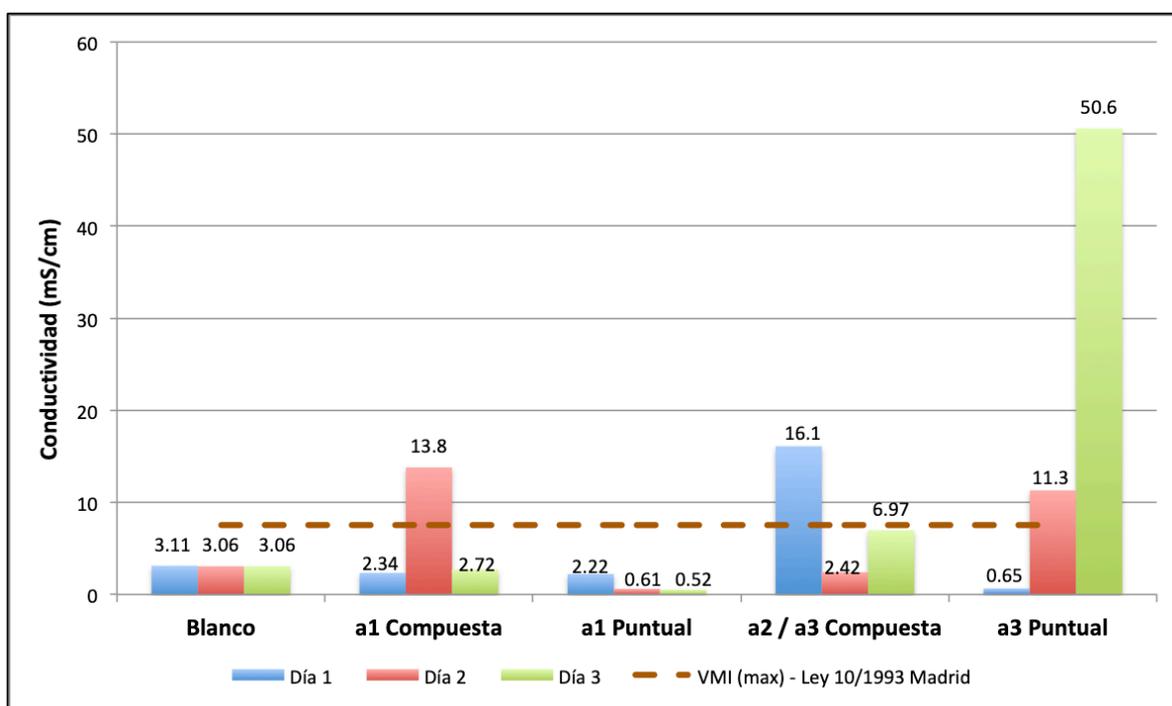


Figura 23: Conductividad eléctrica para muestras compuestas y puntuales de los puntos a1, a2 y a3 recolectadas durante 3 días diferentes de muestreo comparado con los VMI.

Fuente: elaboración propia

En el caso del punto a2 y a3, el Día 1 en la muestra compuesta del punto a2/a3 presentó valores que sobrepasarían los límites de los VMI y el Día 3 en este mismo punto estuvo muy cerca del límite. En las muestras puntuales del punto a3, tal como se puede apreciar en la **Figura 23**, las conductividades de las muestras puntuales del Día 2 y 3 sobrepasarían los límites de los VMI. En el Día 3, el valor de conductividad eléctrica (50.6 mS/cm) supera los VMI por un factor 7 veces mayor.

La **Figura 24** es una especie de promedio de los resultados de la **Figura 18** y **Figura 21**, para los resultados de la muestra compuesta a1 y a2/a3. El punto a1 tiene un pH altamente variado con un rango de 0.98 a 10.35 unidades de pH, mientras que el punto a2/a3 tiene un pH predominantemente ácido cuyo rango va desde 1.15 hasta 5.08 unidades de pH.

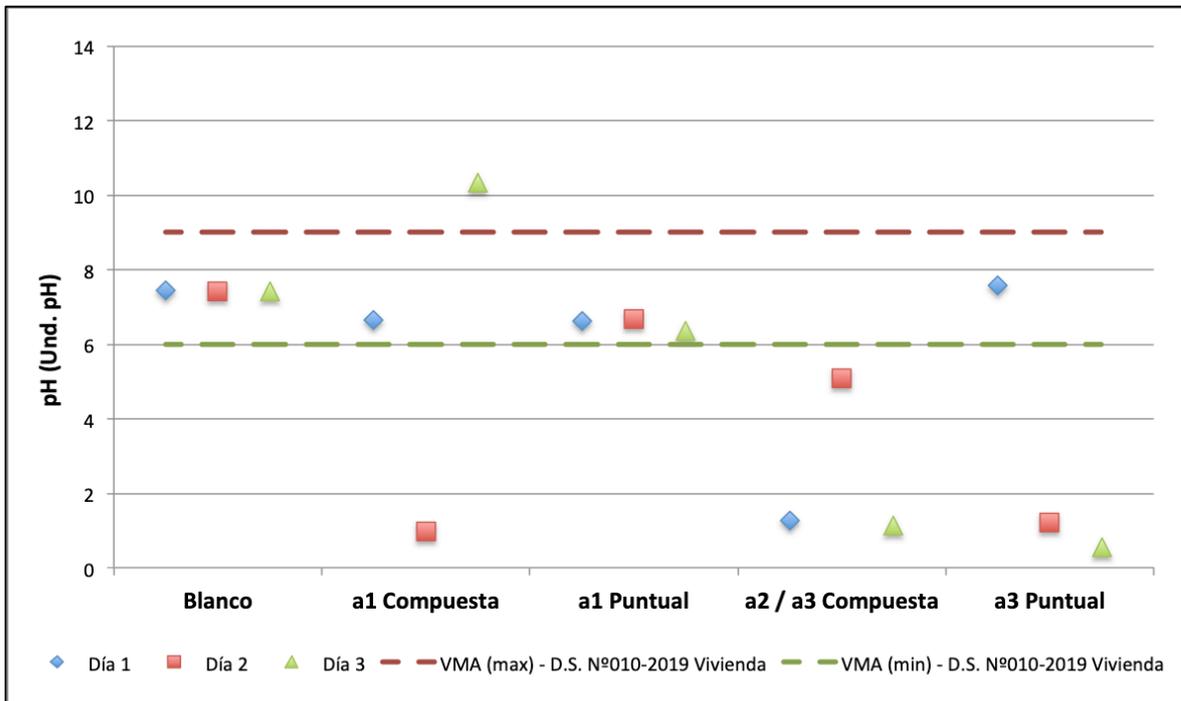


Figura 24: Valores de pH para muestras compuestas y puntuales de los puntos a1, a2 y a3 recolectadas durante 3 días diferentes de muestreo comparado con los VMA.

Fuente: elaboración propia

Se puede presumir por lo cercano al punto de neutralidad de las muestras puntuales del punto a1 que en las momentos de carga máxima (volumen y turbiedad máximo) no se ha modificado el pH de la muestra compuesta. Por otro lado, en el punto a3, se puede ver que la muestra puntual tomada el Día 1 (pH: 7.58) no es tan representativa de la muestra compuesta de ese día (pH 1.27); razón por la cual se optó por tomar las medidas de los siguientes dos días en los momentos que, de acuerdo al pH y la conductividad, se esperaren valores de contaminación más altos. De esta forma, se logró también tener una muestra puntual más representativa de las muestras compuestas.

La **Figura 25** muestra los resultados obtenidos de sólidos totales suspendidos, destaca la muestra puntual del punto a1. Estas muestras fueron tomadas mientras se realiza la limpieza de las probetas usadas en la prueba de textura. Los valores registrados para los tres días de muestreo superaron los VMA por un factor de 10 veces mayor. Los resultados obtenidos para este punto van desde 4820 mg/L hasta 7491 mg/L.

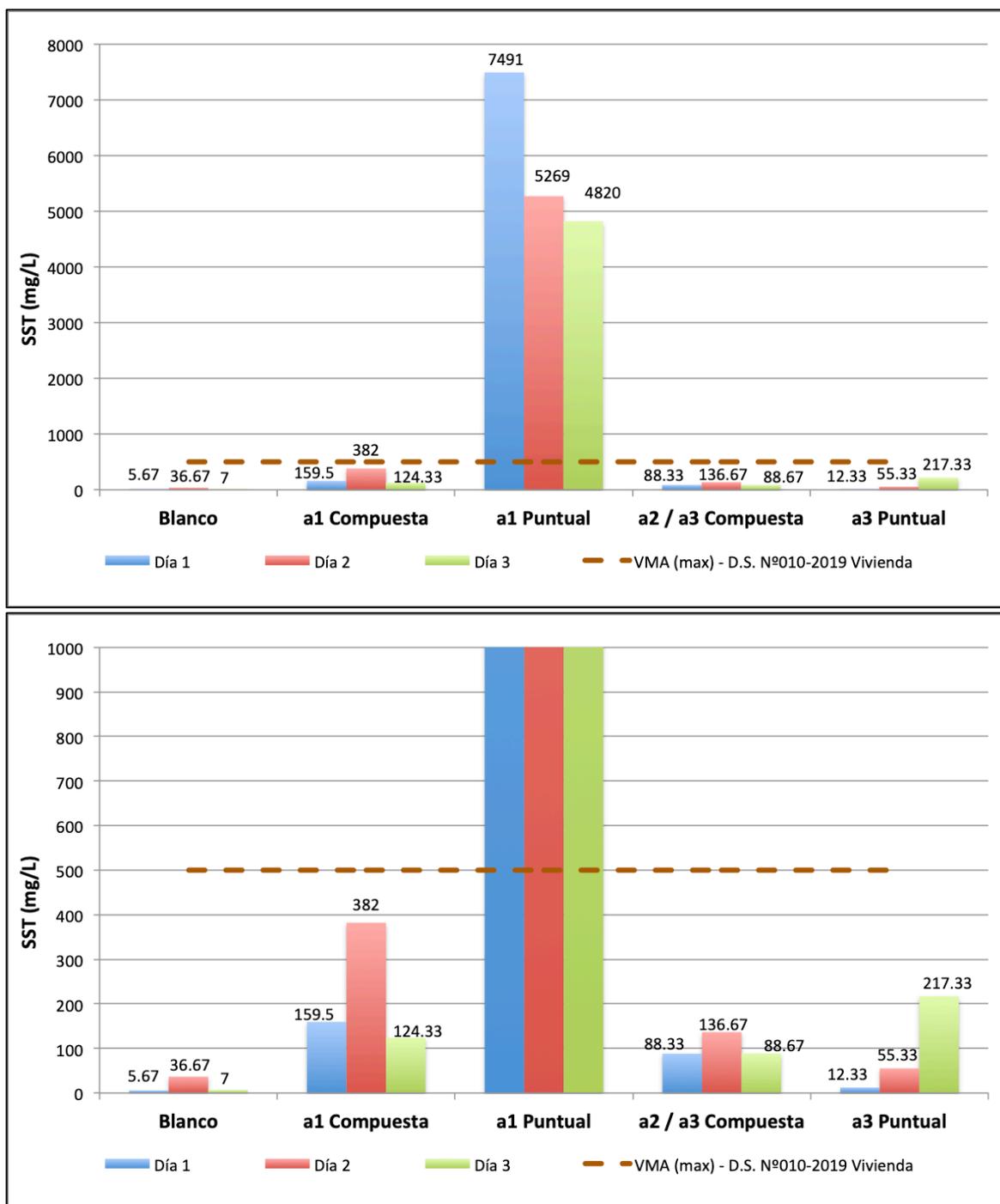


Figura 25: Valores de sólidos suspendidos totales (SST) para muestras compuestas y puntuales de los puntos a1, a2 y a3 recolectadas durante 3 días diferentes de muestreo comparado con los VMA.

Fuente: elaboración propia

Por los valores tan altos de SST que se obtuvieron para las muestras puntuales del punto a1, se optó por presentar un segundo gráfico de SST con un rango más corto del eje Y. Ninguna otra muestra presentó valores semejantes a los que han sido reportados en el punto a1 para las muestras puntuales. Es por esta razón que se decidió realizar una prueba de sólidos sedimentables únicamente para estas 3 muestras puntuales del punto a1. A continuación, en la **Figura 26** se presentan los resultados para este parámetro.

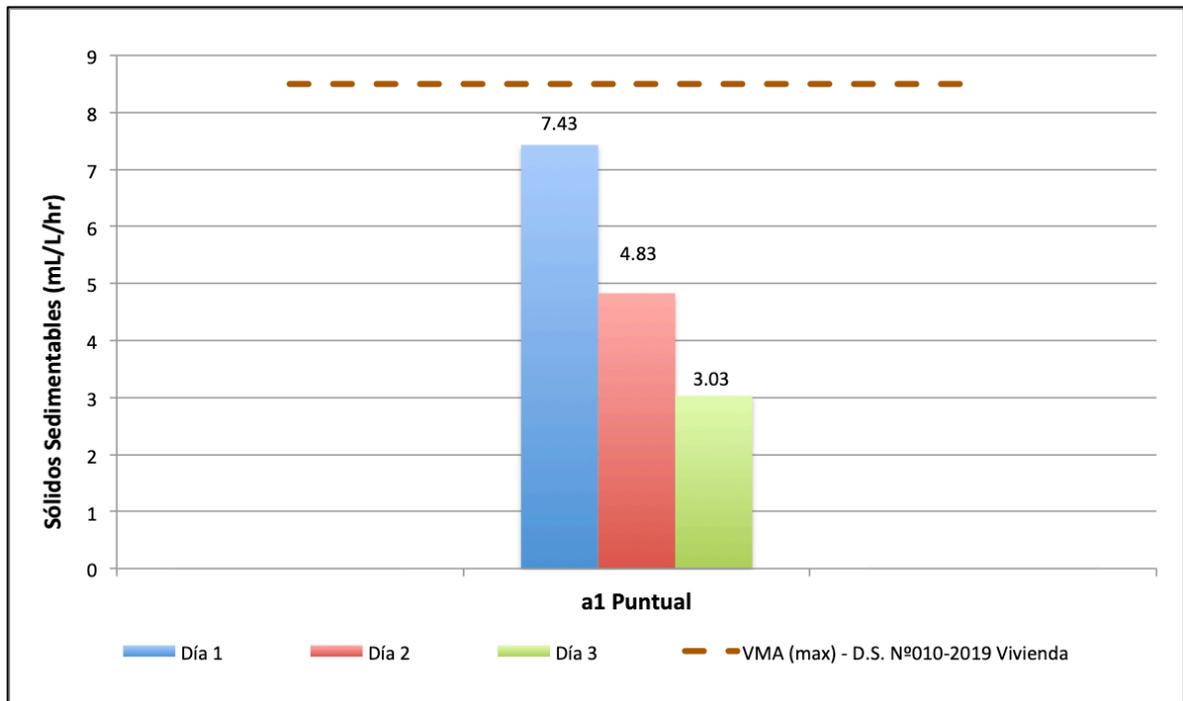


Figura 26: Sólidos sedimentables para la muestra puntual del punto a1 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.

Fuente: elaboración propia

Los sólidos sedimentables están compuestos por las partículas de mayor tamaño que logran sedimentar cuando una muestra de agua está en reposo por 1 hora. Estas son principalmente partículas de limo y arena, las mismas que según el método de Bouyoucos, se espera que sedimenten en la probeta de textura después de 4 horas de reposo. Esta fracción que sedimenta se almacena en un balde para ser depositado en la pila de residuos sólidos. Al parecer, en algunas ocasiones, parte de las partículas de limo y arena llegan a pasar por la alcantarilla, de lo contrario, no se hubieran registrado valores de sólidos sedimentables en la **Figura 26**. Los sólidos sedimentables son más preocupantes que los SST ya que estos últimos pertenecen al anexo I de los VMA mientras que el primero pertenece al anexo II de los VMA. Según la norma, “Los prestadores de los servicios de saneamiento, suspenden temporalmente el servicio de agua potable y de alcantarillado

sanitario ante el incumplimiento” de alguno de los parámetros del anexo II de los VMA. La muestra del Día 1 se encuentra muy cerca de los VMA por lo que será necesario tomar medidas de mejoramiento para la gestión de estos efluentes.

La **Figura 27** ilustra los resultados obtenidos del análisis de boro para las muestras compuestas y puntuales de los puntos a1 y a2/a3.

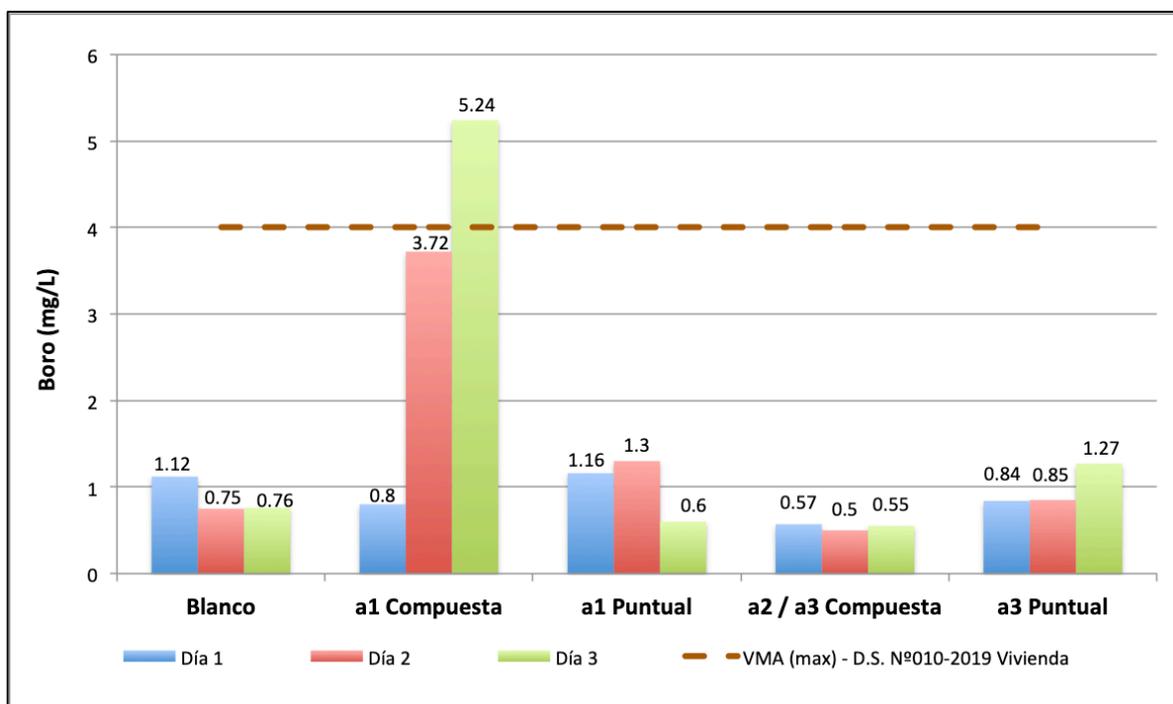


Figura 27: Boro en muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.

Fuente: elaboración propia

El boro es un elemento que solo se utiliza en 2 análisis de laboratorio; en la prueba de determinación de boro y en la prueba de determinación de nitrógeno por el método de nitrógeno Kjeldahl. En la determinación de boro, el ácido bórico se utiliza en cantidades muy pequeñas como en la muestra patrón. En cambio, para el método Kjeldahl este se utiliza en una cantidad aproximada de 0.4 gramos de ácido Bórico (LASPAF-UNALM, 2017). Los valores son altos en el Día 2 (3.72 mg/L), y sobrepasan los VMA el Día 3 (5.24 mg/L); ya que la muestra puntual de este mismo punto no presenta una concentración alta en boro, se puede afirmar que el boro fue vertido en otro momento del día.

En la **Figura 28** se presentan los resultados obtenidos del análisis de cromo total para las muestras compuestas y puntuales de los puntos a1 y a2/a3. Debido a los valores extremos para las muestras del punto a2 y a3, se optó por presentar un segundo gráfico de cromo total con un rango más corto del eje Y. De esta forma, la atención se centra en los resultados del punto a2 /a3.

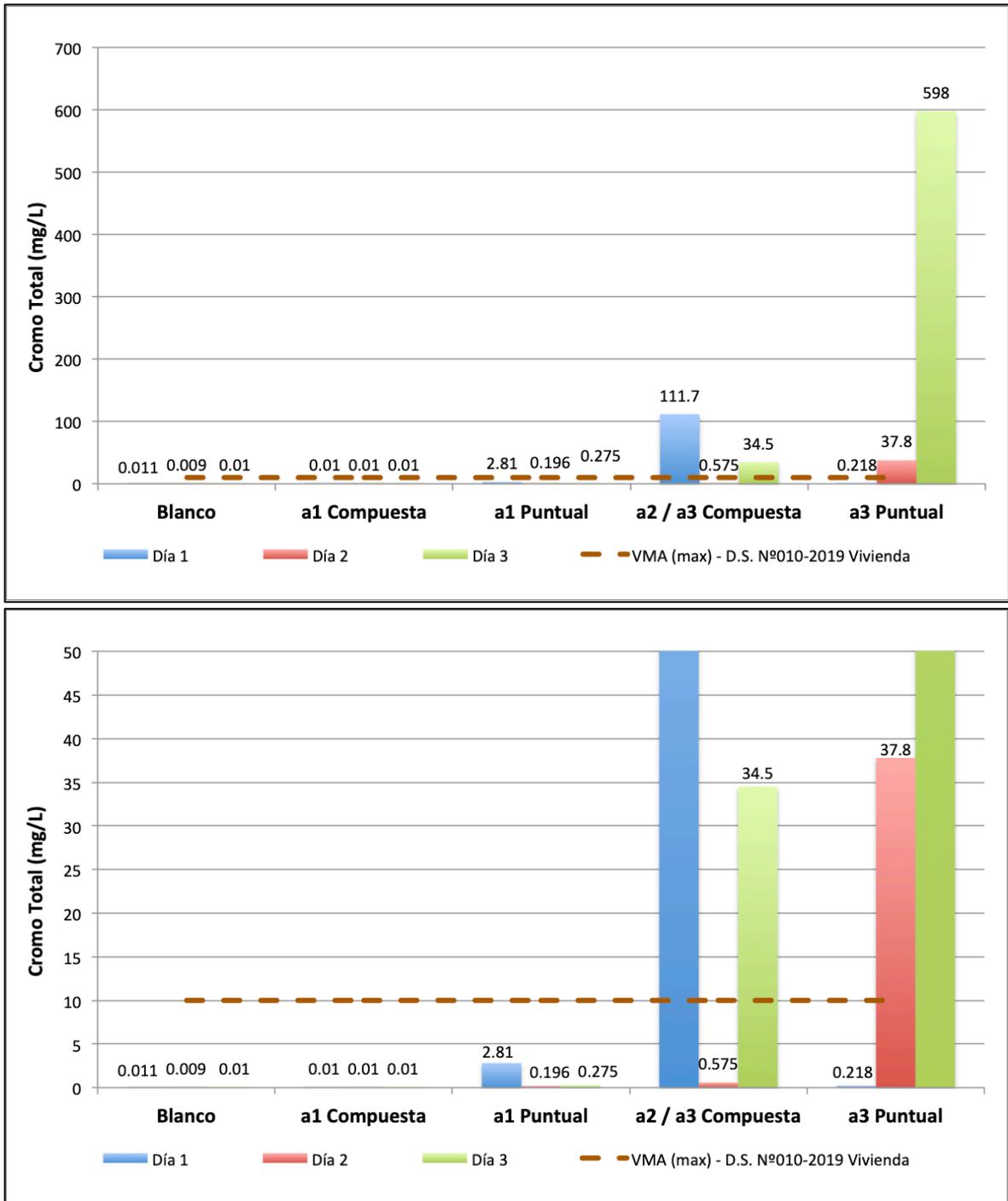


Figura 28: Cromo total muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.

Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar como este metal sobrepasa en un orden de magnitud de 60 veces más los VMA para la muestra puntual del punto a3 recolectada el Día 3 (598 mg/L). Este parámetro puede ser atribuido directamente al dicromato de potasio que es usado como agente oxidante en la determinación de materia orgánica por el método de Walkley y Black. Las magnitudes de este contaminante tanto en las muestras puntuales (punto a3), o muestras compuestas punto a2/a3, son preocupantes. Incluso sin tomar en cuenta la normativas, los resultado coincide con el del trabajo realizado por Ostinelli y Carreira (2010). Donde se identifica al cromo como uno de los principales residuos peligrosos de los laboratorios de suelos. Los resultados serán discutidos junto con los resultados de sulfatos y nitrógeno amoniacal.

Con una tendencia similar a la de la **Figura 28**, la **Figura 29** muestra los resultados de nitrógeno amoniacal para las muestras compuestas y puntuales de los puntos a1 y a2/a3. Debido a los valores extremos para las muestras del punto a2 y a3, se optó por presentar un segundo gráfico de cromo total con un rango más corto del eje Y.

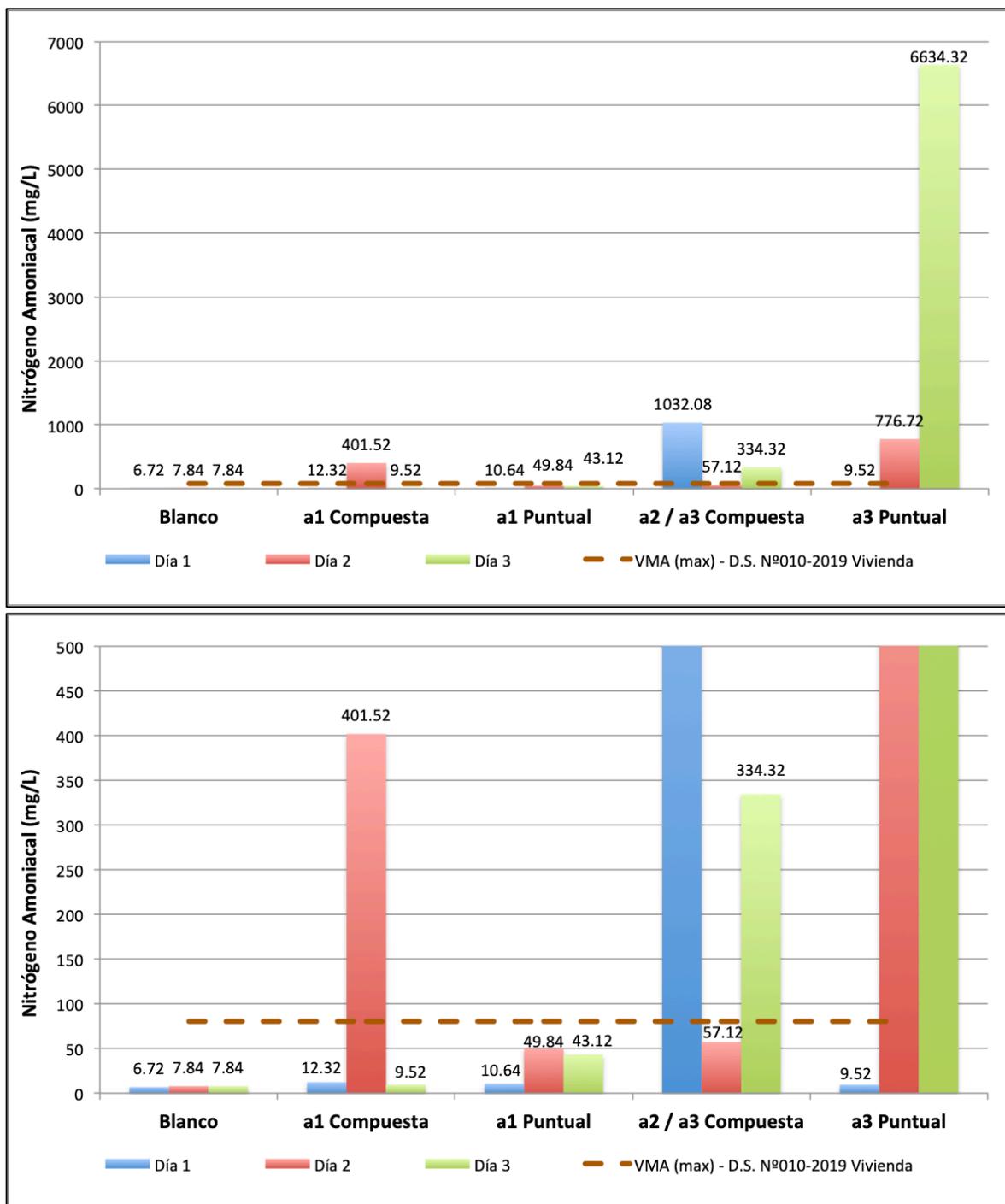


Figura 29: Valores de nitrógeno amoniacal muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.

Fuente: elaboración propia

Con una tendencia similar a la de la **Figura 28** y **Figura 29**; la **Figura 30** muestra los resultados de sulfatos para las muestras compuestas y puntuales de los puntos a1 y a2/a3. Debido a los valores extremos para las muestras del punto a2 y a3, se optó por presentar un segundo gráfico de cromo total con un rango más corto del eje Y.

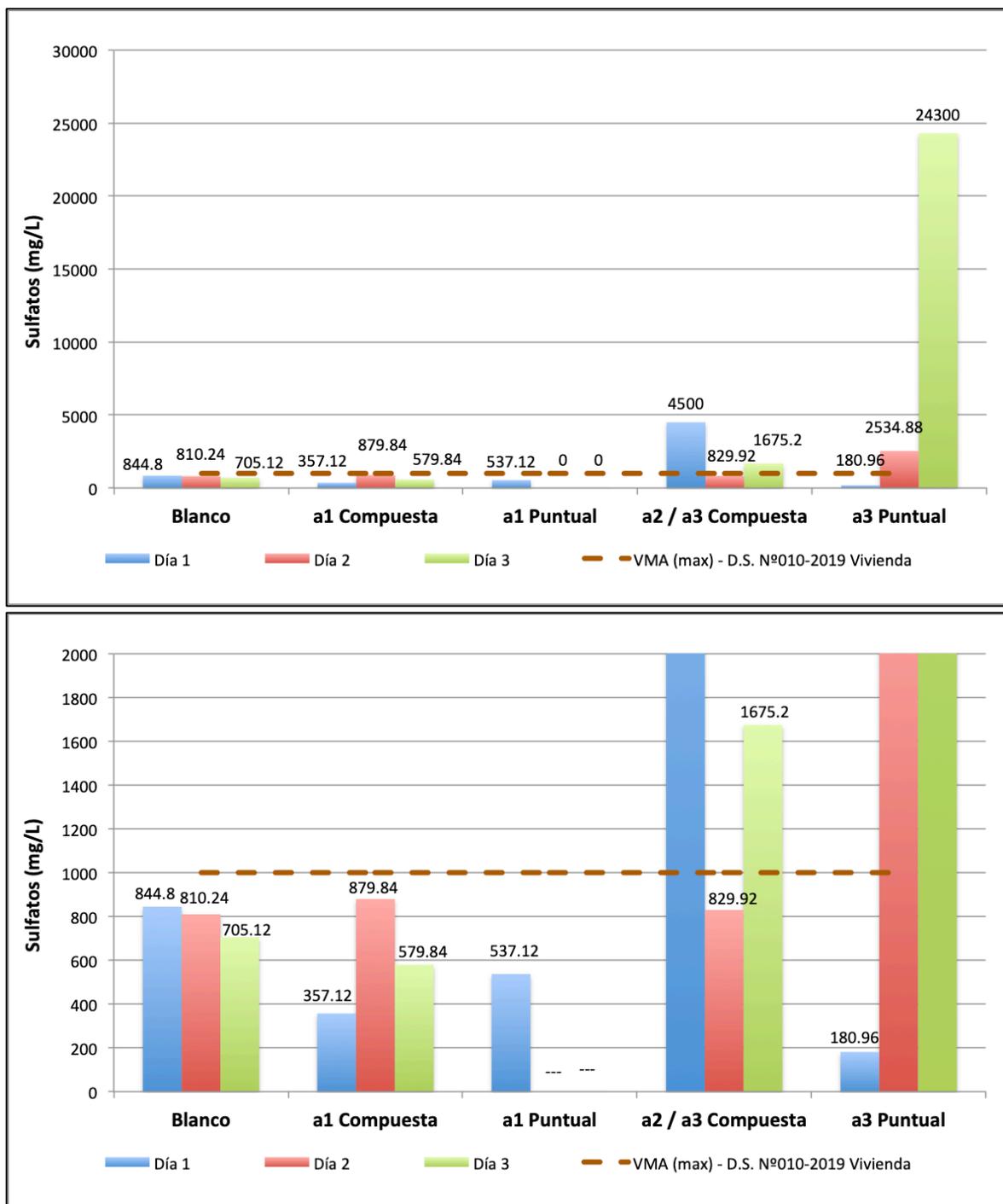


Figura 30: Valores de sulfatos muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.

Fuente: elaboración propia

Con excepción de la muestra compuesta del punto a1 en el Día 2, donde el resultado de nitrógeno amoniacal es bastante alto; los valores de cromo total, nitrógeno amoniacal y sulfatos tienden a relacionarse fuertemente (**Figura 29** y **Figura 30**). Esto se debe a que en el método de Walkley y Black se utiliza sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) como titulante del exceso de Cr (VI) a Cr (III). Como menciona nuevamente Ostinelli y Carreira (2010):

En este sentido debe destacarse que el Cr (VI) es quien tiene efectos altamente perjudiciales para el ser humano (es cancerígeno) y el ambiente, debido a su elevada solubilidad en agua, lo que le permite el traslado en la naturaleza y el ingreso a los organismos vivos.

Sin embargo, la reducción de Cr (VI) a Cr (III), mediante el uso de sulfato ferroso genera un contaminante adicional, que serían los sulfatos. Por otro lado, el nitrógeno amoniacal se genera por la descomposición de la materia orgánica y la liberación del nitrógeno orgánico e inorgánica presente en la muestra en forma de nitrógeno amoniacal.

La **Figura 31** muestra los resultados de cobre, por más que los valores de cobre no llegaron a superar los límites establecidos por los VMA, igual se incluyeron los resultados ya que las muestras compuestas del Día 1 en el punto a2/a3 muestra un nivel muy cercano al límite y con una alta diferencia comparada a las demás muestras.

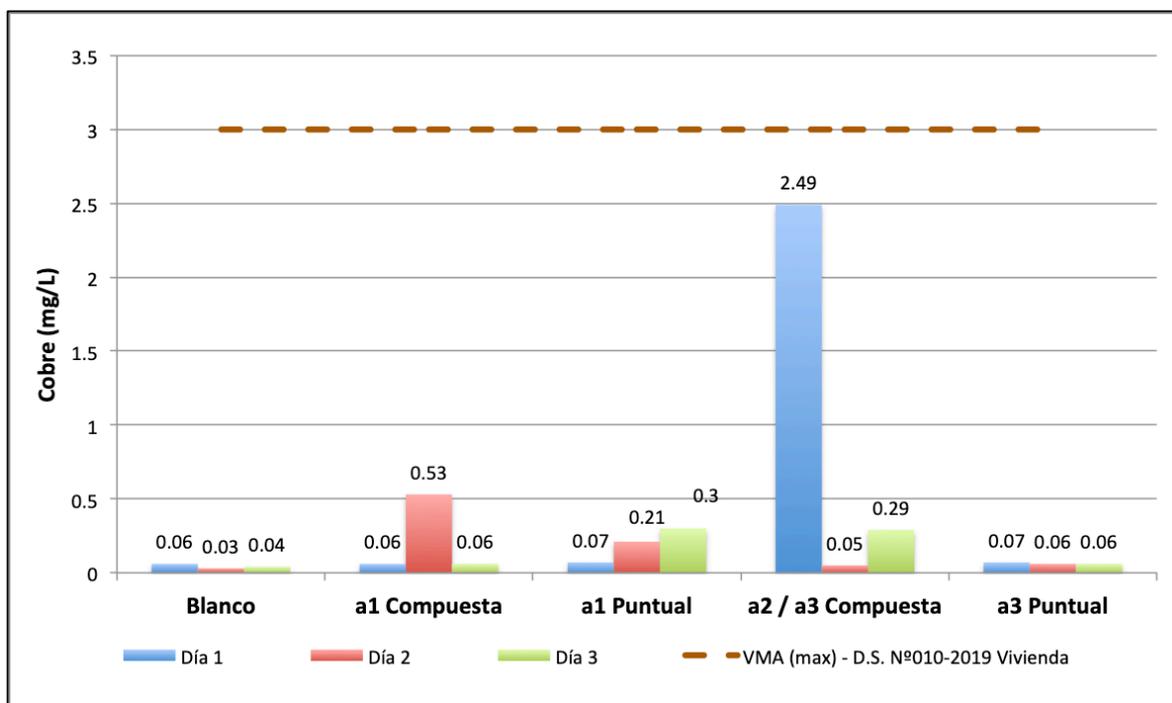


Figura 31: Valores de cobre de muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.

Fuente: elaboración propia

Se identificó el método de nitrógeno Kjeldahl en muestras de suelo como la única posible fuente de cobre. En este método se prepara una solución catalizadora en base a: sulfato de potasio, sulfato de cobre pentahidratado y selenio. En este caso, llama la atención que no se hubiera encontrado también boro en esta muestra, ya que este reactivo, como se aprecia en la **Figura 27** también se utiliza en el método Kjeldahl. Por el contrario, no sorprende que el cobre no esté presente en las muestras del punto a1 ya que el sulfato de cobre es usado en mayor cantidad como catalizador para las muestras de suelo y no para las muestras de tejido vegetal.

Otro metal que por más que no llegó a superar los VMA, llama la atención es el plomo ya que este se encuentra en cantidades trazas en todas las muestras, incluso en los blancos (Figura 32). Sin embargo, las muestras puntuales del Día 2 y 3 en el punto a1 muestran valores bastante por encima del resto de muestras. Ya que estas muestras han sido tomadas de los efluentes de las pruebas de textura, solo se ha podido hipotetizar que pueda estar habiendo algún intercambio de plomo entre los densímetros utilizados para medir la densidad relativa de las muestras de suelo y la mismas muestras líquidas.

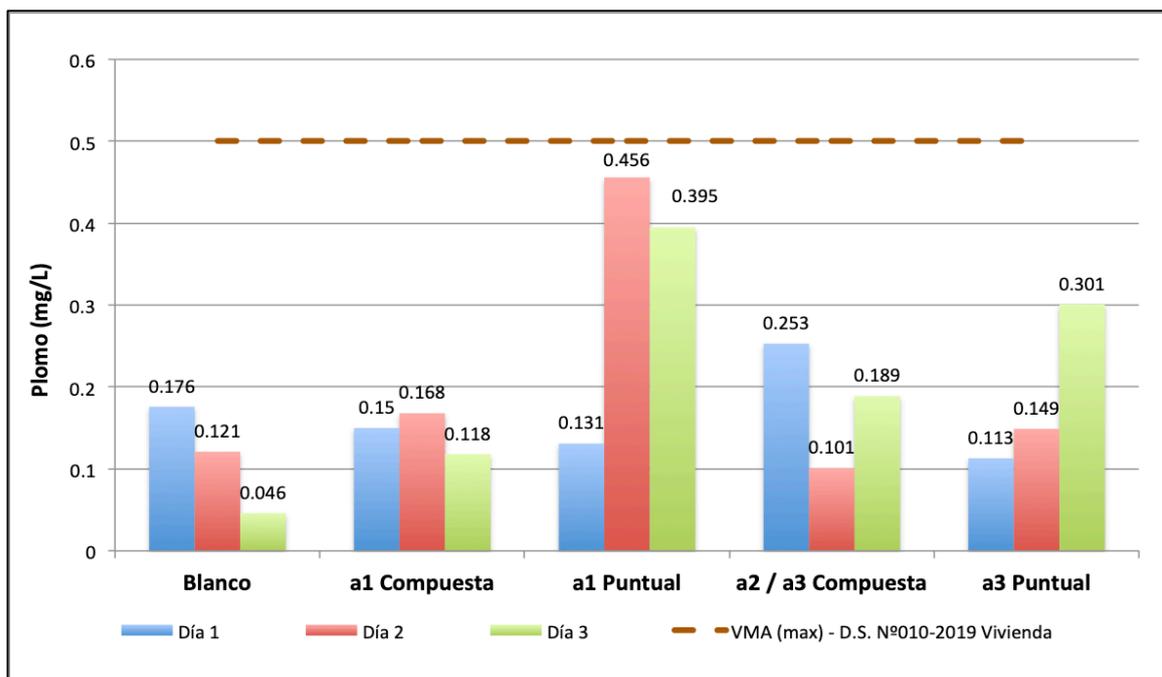


Figura 32: Valores de plomo de muestras puntuales y compuestas del punto a1, a2 y a3 recolectadas durante los 3 días de muestreo comparadas con los VMA.

Fuente: elaboración propia

Este aparato de vidrio cuenta con un peso de plomo en la parte inferior, el cual podría estar causando un intercambio de este metal con el agua de las muestras. Por más que es altamente improbable, es la única explicación lógica que se le ha podido dar a estos dos valores que se desvían de los valores de las demás muestras.

4.4. Propuestas para mejorar la gestión en el LASPAF

Con el objetivo de resumir los resultados presentados previamente y hacer las propuestas lo más aplicativas posibles, se optó por presentar los resultados en la **Tabla 15**.

Tabla 15: Puntos críticos de generación de sustancias peligrosas

Parámetro Determinado	Método Utilizado	Sustancia Peligrosa Generada
Materia orgánica en el suelo	Walkley y Black	<ul style="list-style-type: none">• Cromo (Cr)• Sulfatos (SO_4^{-2})• Nitrógeno amoniacal (NH_3 y NH_4^+)• Sedimentos con cromo
Nitrógeno	Nitrógeno Kjeldahl	<ul style="list-style-type: none">• Boro (B)• Cobre (Cu)
Textura de suelo	Bouyoucos	<ul style="list-style-type: none">• Sólidos suspendidos totales• Sólidos sedimentables
Metales pesados, macro elementos y micro elementos	Digestión Ácida	<ul style="list-style-type: none">• Vapores ácidos (HClO_4 y HNO_3)• Dióxido de nitrógeno (NO_2)

Fuente: elaboración propia

En la **Tabla 15** se presentan los puntos críticos de la generación de sustancias peligrosas dentro del LASPAF. A continuación se presenta una descripción más detallada de estrategias que se pueden emplear para reducir, mitigar o eliminar estas sustancias y sus efectos nocivos en el ambiente y los trabajadores del laboratorio.

En otros estudios, realizados por el Instituto de Suelos, perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina, Ostinelli y Carreira (2010), analizaron los residuos que son típicamente generados en un laboratorio de suelos y hallaron que:

En función de la cantidad generada y por tratarse de desechos especiales o peligrosos se priorizaron para su tratamiento los residuos provenientes de los ensayos de nitrógeno orgánico (método Kjeldahl) y carbono oxidable (método de Walkley y Black) en suelo, y el ensayo de cloruros (método de Mohr).

Estos tres métodos mencionados por Ostinelli y Carreira (2010) son los mismos métodos utilizados dentro del LASPAF para la determinación de las sustancias mencionadas líneas arriba (LASPAF-UNALM, 2017). No obstante, el ensayo de cloruros solo se lleva a cabo en los análisis de aguas por lo que no existe preocupación sobre este ensayo.

4.4.1. Materia orgánica en el suelo

El presente estudio ha llegado a resultados muy parecidos a aquellos presentados por Ostinelli y Carreira (2010) acerca de los residuos peligrosos generados por el Método Walkley y Black. Ellos identifican al dicromato de potasio, como una de las principales fuentes de contaminación de los laboratorios de suelo. La **Figura 28** (cromo), **Figura 29** (sulfatos) y **Figura 30** (nitrógeno amoniacal) muestran cierta correlación entre los valores, especialmente para el punto a2 y a3. Esto se debe a que el sulfato es parte de la estructura química del sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), mientras que el nitrógeno se desprende de la descomposición de la mezcla de suelo. Según el anexo II de los VMA, el vertimiento de sulfatos y nitrógeno amoniacal también deben ser controlados, junto con el cromo total y cromo hexavalente.

Ostinelli y Carreira sugieren: reducir el cromo, alcalinizar la muestra para recién ser descartado en la alcantarilla. Debido a la alta toxicidad del cromo VI comparado al cromo III; Ostinelli y Carreira (2010), plantean “la necesidad de asegurar la permanencia del Cr en estado reducido, agregando, al finalizar el ensayo y antes de verter el residuo en un bidón, un exceso de sal de Mohr [o sulfato ferroso]”. Esto incrementaría la cantidad de sulfatos en la muestra mientras que reduciría el cromo VI a cromo III.

Se ha calculado en el Anexo 13 el costo de sulfato ferroso heptahidratado que se necesitaría adicionar para reducir todo el Cromo VI a Cromo III y en el Anexo 14 el costo del hidróxido de sodio necesario para neutralizar la muestra. Utilizando precios moderados para sulfato ferroso (S/. 30 por 1 kg) e hidróxido de sodio (S/. 255 por 25 kg) se calcularon los costos promedios anuales. En el caso de hidróxido de sodio se requiere aproximadamente S/.1350 para la compra de 131.21 kg de NaOH y para sulfato ferroso, S/.530 para la compra de 17.58 kg de FeSO_4 .

Una segunda opción, aun más viable, por el menor uso de reactivos y un menor costo, es contener los 20 mL de ácido sulfúrico más dicromato de potasio en un bidón cerrado y hacer uso de los servicios brindados por el Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR). Se estima que en promedio el LASPAF procesa 18215 muestras de suelo para caracterización (datos **Figura 8**). Lo que esto significa, es que por año se generaría un volumen de 365 litros; debido a la alta densidad del ácido sulfúrico (1.84 g/cm^3) se estima que el peso total sería aproximadamente 520 kg (recordar que la solución está compuesta de ácido sulfúrico y dicromato de potasio 2N). A 2.5 nuevos soles por kg de residuos peligrosos, el LASPAF invertiría aproximadamente 1300 nuevos soles para gestionar adecuadamente los residuos generados por el análisis de materia orgánica en el suelo. Esta opción es mucho mejor que la primera opción planteada ya que hace uso de menos químicos, agua y el costo es menor.

La tercera opción se centra en proponer un método alternativo al método de Walkley y Black que sería una mejor opción para el mediano y largo plazo. Según Alemán y Guido (2015), un método de determinación alternativo es la técnica colorimétrica, en la cual se hace uso de menos cantidad de reactivo, dado que requiere de mitad del volumen de dicromato de potasio por cada gramo de muestra de suelo. Al usar una menor cantidad de reactivos, la cantidad generada de productos de desecho será también menor, lo que significa menos costo para disponer adecuadamente (ver **Figura 33**). Además, esta es una alternativa viable, pues el laboratorio ya cuenta con un espectrofotómetro, por lo que su adecuación no implicaría un mayor costo.

Adicionalmente, Alemán y Guido (2016) realizaron un estudio comparativo de las dos técnicas mencionadas, concluyendo que el método colorimétrico logra resultados más exactos, precisos y con menos incertidumbres. Otro estudio que muestra resultados similares es el que realiza García y Ballesteros (2005), en el que mencionan que “el método colorimétrico para la determinación de carbono orgánico en suelos presentó menores costos y volumen de reactivos por análisis, a su vez, este fue el que ofreció la mejor repetitividad.”

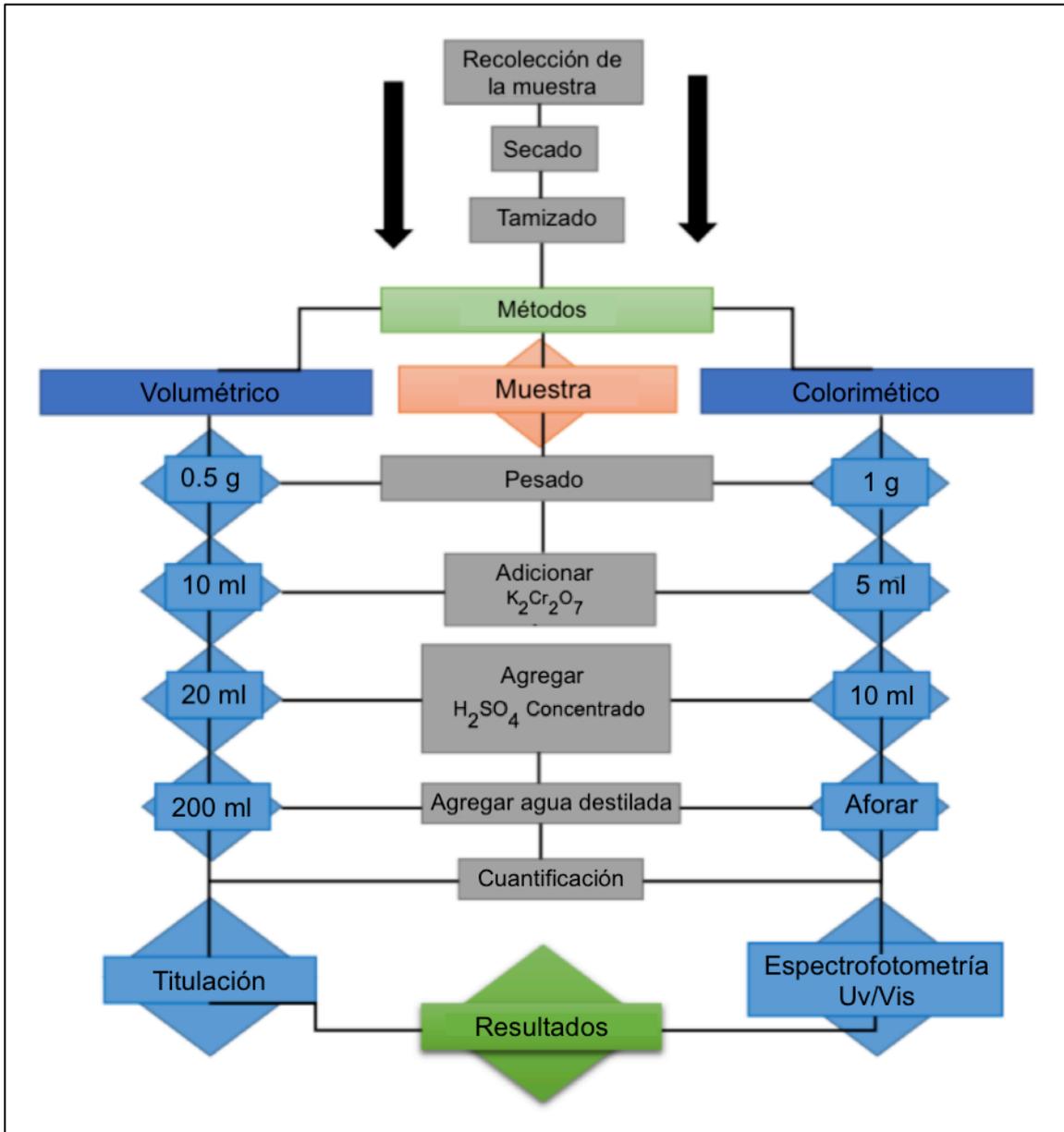


Figura 33: Flujograma de método alternativo para determinar materia orgánica en el suelo

Fuente: Alemán y Guido, 2016.

En el corto plazo, se considera que la disposición de los efluentes en las instalaciones de CEMTRAR será lo más efectivo. Por otro lado, se espera que al largo plazo, se pueda comparar los métodos de espectrofotometría UV con los de titulación y se pueda corroborar que incluso el método por espectrofotometría es más preciso que el de titulación. (Cenicafe, 1985; McKean, 1993).

4.4.2. Nitrógeno Kjeldahl

El método Kjeldahl determina “el Nitrógeno en estado tri negativo; el ‘nitrógeno Kjeldahl’ es la suma del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal” (Hernan, 2007). Este “es el principal método utilizado por los centros de investigación para generar los estándares nutricionales de nitrógeno” en muestras de cultivo, suelo, alimento nutricional, etc. (Sallato, 2017). Sin embargo, en la actualidad existen muchos laboratorios, académicos y de servicios, que están utilizando métodos diferentes, entre ellos, el más común es el método Dumas. El método Dumas consiste en la transformación de todas las formas de nitrógeno en N gaseoso por calcinación y su determinación es por conductividad térmica (Sweeney & Rexroad, 1987), lo que se traduce en un método más rápido, exacto y consistente (Schmitter & Rihs, 1989). Como Juan Ruffino, CEO de LECO indica;

A pesar que Dumas lea 1% en promedio más, el error en Kjeldahl es mayor que esa diferencia. Si a eso le sumamos el tiempo de análisis y el uso de ácidos y catalizadores tóxicos y el costo por análisis, sin duda que Dumas es la mejor opción en la actualidad, en base costo - beneficio.

Los argumentos a favor son amplios, sin embargo, el método Kjeldahl sigue siendo “particularmente importante en muestras no homogéneas como el suelo donde el tamaño de muestra es crítico para un análisis representativo” (Foss Analytics, 2018). Tomando en cuenta que la mayor cantidad de muestras que son procesadas en el LASPAF son muestras de suelo (**Figura 8**) habría que dar una mirada más de cerca a este método. Adicionalmente, los analizadores de nitrógeno para realizar el método Dumas cuestan entre 25 000 y 40 000 dólares, este alto costo inicial hace que la solución planteada, en el corto plazo, sea inviable.

Idealmente, el boro tiene que ser eliminado de los efluentes, por esta razón, se ha propuesto utilizar un método de remoción con óxidos mixtos de magnesio y aluminio. En las pruebas realizadas por Heredia et al. (2017), se logró remover hasta un 82% de boro con los óxidos metálicos de magnesio y aluminio (Heredia, Balsamo, De La Fuente, Narros, & Crivello, 2017). La alta eficiencia de remoción de este método, haría que ni siquiera sea necesario contener los residuos. Además, esto significaría un bajo costo para el laboratorio ya que los óxidos metálicos podrían ser fabricados en el LASPAF.

Otra sustancia identificada en el análisis de nitrógeno Kjeldahl es el sulfato de cobre que se utiliza como catalizador de los análisis de muestras de suelos y tejidos vegetales. Éste, hace algunos años, sustituyó al selenio que había sido usado anteriormente (García S. , 2018). Cabe señalar la ironía en las legislaciones peruanas, “los estudios en animales han demostrado que niveles muy altos de selenio pueden afectar la producción de espermatozoides y el ciclo reproductivo de las hembras” (ATSDR, 2016). Sin embargo, este metal no se encuentra listado en las normativas peruanas para los VMA. Si se quisiera cumplir con la normativa se podría regresar al uso de selenio en las practicas de laboratorio. Al no ser este una medida adecuada, ni tampoco ética, se ha optado por sugerir la precipitación de cobre mediante bateas de precipitación usando restos de hierro (Cárdenas, Díaz, Guajardo, & Belén, 2009). Es necesario realizar ensayos a escala del laboratorio considerando las relativas bajas concentraciones de cobre que se producen y así para evaluar la eficiencia de este método de recuperación.

Eventualmente, al largo plazo, se podría considerar cambiar de método para los análisis de muestras de tejidos vegetales al método Dumas. Mientras que al corto plazo, se pueden realizar pruebas de precipitación de boro con óxidos metálicos y la precipitación de cobre con hierro eliminando de forma definitiva el boro y cobre tanto de las pruebas de análisis de tejidos vegetales como las pruebas de análisis de suelo.

4.4.3. Textura de suelo

La textura del suelo es determinada mediante el método de Bouyoucos. Este método “básicamente consiste en la medida de la densidad de la suspensión la cual [está dada] en función de la concentración y del tipo de partículas presentes, después de un tiempo de sedimentación” (LASPAF-UNALM, 2017). Lo que queda al final de esta prueba son probetas con sólidos sedimentados y sólidos en suspensión, como se puede observar en la **Figura 34**.



Figura 34: Probetas para determinar textura de suelo.

Fuente: elaboración propia

Se buscó determinar cuánto de los sólidos son arrastrados junto con los efluentes y cuántos son tratados como residuos sólidos (y llevados al punto b2). Para tener una estimación, se pidió al encargado limpiar las probetas que, sin alterar el modo como usualmente limpia las probetas, separara los sedimentos de 100 muestras en una bandeja específica y descartara el resto. Los cálculos para dicha estimación se pueden encontrar en el Anexo 12.

El número de muestras que se procesaron fueron 100, en cada una se miden 50 g de muestra de suelo, es decir en total hay 5000 g de sedimentos. De estos 5000 g de sedimento aproximadamente se separaron 3150 g en la bandeja de sólidos, esto significa que permanecen 1850 g de sedimentos o aproximadamente el 37% de los sedimentos en los efluentes. La solución más directa para reducir significativamente la carga de sólidos en el efluente es dándole mantenimiento a la trampa de sólidos donde se encuentra ubicado el punto de muestreo S-b1 (**Figura 1**). A continuación se pretende hacer una estimación muy gruesa de cada cuánto se debería realizar la limpieza de dicha trampa. Cabe recordar que estos sedimentos no son peligrosos (**Figura 10** y **Figura 11**), se podrían incluso incluir en bajas cantidades dentro de una pila de compostaje. Sin embargo, los sedimentos del punto S-b3 si deberían tener algún pre-tratamiento para reducir los niveles de cromo o ser estos contenidos y descartados en CEMTRAR.

Considerando que por año se procesa un promedio de 18215 muestras de suelo para caracterización y que 37% de los 50 g que son utilizados para la prueba de textura se quedan en el efluente. Se estima que en un año se esté produciendo un total de aproximadamente 337 kg de muestra que escurre en la alcantarilla. La densidad aparente

de un suelo franco arenoso es de 1500 kg/m^3 (Flores & Alcalá, 2010). Asumiendo este valor promedio para la densidad aparente de los sólidos escurridos por la alcantarilla como resultado de las pruebas de textura de suelo, se genera aproximadamente 0.225 m^3 de sólidos. Se puede observar cierta diferencia entre los sólidos suspendidos totales (**Figura 25**) y los sólidos sedimentables (**Figura 26**) en cada una de las muestras tomadas. Por esta razón se asumirá que un 60% de los sólidos suspendidos totales llegarán a sedimentarán en los minutos que el efluente reposa en el buzón de alcantarilla. Aproximadamente sedimenta 0.135 m^3 de sólidos. Esto equivale a un 58% de la trampa de sólidos que tiene un volumen útil de 0.234 m^3 .

Se recomienda vaciar la trampa anualmente, esto permitirá reducir significativamente la carga de sólidos suspendidos (especialmente sedimentables) de los efluentes del LASPAF. Además permitiría contar con un espacio dentro del buzón de alcantarilla libre de sedimentos para en un futuro poder tomar muestras rutinarias de pH y metales. Por esta misma razón, sería bueno por lo menos cada 2 años limpiar el buzón de alcantarilla del punto b3 que se encuentra ubicado en el área 1. Se debe tener muy en cuenta que los residuos del punto b3 deben ser tratados como residuos peligrosos y dispuestos en CEMTRAR.

4.4.4. Metales pesados, micro y macro elementos

El análisis de metales pesados, micro y macro elementos se realiza mediante el uso del espectrofotómetro de absorción atómica. Sin embargo, no es la medición de los metales pesados, de los micro elementos ni de los macro elementos donde se generan las sustancias peligrosas, sino la extracción por vía húmeda de las muestras. “La digestión vía húmeda es realizada mediante el ataque con ácidos fuertes. Los ácidos más utilizados son el ácido perclórico (HClO_4) y el ácido nítrico (HNO_3) cuya relación es de 1:5 respectivamente” (LASPAF-UNALM, 2017). Aquí las muestras de tejido vegetal se colocan en un matraz junto con 15 mL de una mezcla perclórica-nítrica (1:5) y se deja reposando sobre una plancha de calentamiento de 180°C por 2 horas. En el caso de las muestras de suelo, este procedimiento solo se realiza para el análisis de metales pesados. A la muestra de suelo se le agrega 8 mL de mezcla perclórica-nítrica (1:5) y se deja reposar sobre la plancha de calentamiento a 180°C por 4 horas.

Las planchas de calentamiento están ubicadas dentro de las campanas de extracción y estas son encendidas cada vez que se realiza la extracción vía húmeda tanto de muestras de tejido vegetal como de suelo. Los análisis de suelo suelen ser procesados en el área 2 del LASPAF, mientras que los análisis de tejidos vegetales se realizan en el área 1 del LASPAF. Las campanas con las que cuenta actualmente el LASPAF son adecuadas para proteger el ambiente interno y la salud de los trabajadores. Sin embargo, al no contar con algún sistema de filtro, depurador o *scrubber*, estas no toman en consideración al entorno del LASPAF y liberan las emisiones de vapor ácido y NO₂ directamente al ambiente.

En el área 2 del LASPAF ya cuenta con una de las soluciones más viable al problema de vapores ácidos y NO₂ (ver **Figura 3**). El *scrubber* que está ubicado en esta área, sin embargo, ha sido mal diseñado y no ha tenido una adecuada operación y manejo para lograr resolver el problema de contaminación del laboratorio.

Los *scrubber* se dividen en dos tipos: húmedos y secos; y según las sustancias que se quieran remover también existen diferentes categorías, las cuales no vale la pena entrar en detalle. En el caso de vapores ácidos el *scrubber* de menor costo y mayor eficiencia de remoción de vapores ácidos es el *scrubber* húmedo con solución alcalina de hidróxido de sodio (CECO HEE-Duall, 2018). No obstante, las cantidades de hidróxido de sodio que serían necesarias para neutralizar la totalidad del ácido que se genera anualmente en el laboratorio sería bastante alto, en órdenes de 70 kg anualmente (Anexo 15 y Anexo 16). Al ser esta una sal altamente soluble 109 g/100 mL H₂O a una temperatura de 20°C, se espera que no haya problema alguno con la alta carga de NaOH que se requiere (International Labour Organization, 2010). Eventualmente, en el momento de saturación con ácido, parte de la solución captadora podría ser evaporado y así reducir el volumen de la muestras hasta por lo menos 70 litros de solución sin que hubiera precipitación, para luego poder descartar esta solución concentrada como residuo peligroso en CEMTRAR. El costo anual de esta operación sería de menos de 200 nuevos soles.

Otro punto que vale la pena resaltar es que el *scrubber* del área 2 no está del todo bien diseñado y este tendría que ser modificado. El orificio por el cual se pretendía dispersar el aire dentro del contenedor no es el más adecuado (ver **Figura 35**). Entre los factores que tienen mayor importancia en los depuradores húmedos, es la superficie de contacto que

hay entre la interface gaseosa y la líquida (Peirce, Weiner, & Aarne, 1998) (Woodard & Curran, Inc., 2006) (Rogoff & Screve, 2012).



Figura 35: Interior de scrubber (área 2).

Fuente: elaboración propia

La superficie de contacto será mayor, mientras menor sea el diámetro de las burbujas que son inyectadas en la solución captadora. Así mismo, mediante un sistema de aspersión de la solución captadora se puede incrementar la superficie de contacto y el intercambio entre ambas fases. Este depurador fue diseñado de tal forma que el tubo en forma de L, que ahora se ha caído y está en el interior del contenedor, sirviera de ducto por el cual pasaría el aire que luego burbujearía dentro de la solución captadora (**Figura 35**). La modificación evidente que se tendría que hacer a este diseño es un difusor que además de homogenizar la salida del aire a través de toda el área de la superficie inferior del depurador, tenga orificios suficientemente pequeños para generar micro burbujas.

Una vez corregidos los problemas de diseño y los problemas de dosificación de reactivos, será necesario hacer un seguimiento de cerca al funcionamiento del sistema. Idealmente se tendría que medir rutinariamente (cada 1 o 2 semanas) el pH y el nivel del agua para

asegurar así el adecuado funcionamiento del sistema. Este mismo sistema tendría que ser replicado en el área 1 para la chimenea del punto c2, en este caso se tendría que adecuar una base en el techo ya que esta zona tiene una pendiente pronunciada. Además, el sistema de extracción en esta campana solo cuenta con una pequeña bomba de succión al interior de la campana de extracción. La bomba que se encuentra en el techo está completamente oxidada. Debido a la inversión necesaria, implementar un *scrubber* en este punto sería significativamente más difícil y sin embargo, este punto es el de mayor preocupación en cuanto a emisiones de NO₂ y vapores ácidos (ver Anexo 15 y **Figura 14**).

4.4.5. Resumen de propuestas

La **Tabla 16** es una compilación de todas las propuestas antes mencionadas y los costos aproximados para implementar cada una de las propuestas sugeridas.

Tabla 16: Propuestas para mejorar la gestión de las sustancias peligrosas

Parámetro Determinado	Método Utilizado	Propuestas	Costo anual aproximado (S/.)
Materia orgánica en el suelo	Walkley y Black	Aislar en contenedor hermético y descartar como residuo peligroso en CEMTRAR	1300 (CEMTRAR)
		Limpieza y mantenimiento de la trampa de sólidos peligrosos	100 (02 jornales) 1100 (CEMTRAR)
		Cambiar a un método colorimétrico (Aleman & Guido, 2015)	650 (CEMTRAR) +Ahorro en reactivos
		Reducir Cr (VI) con sulfato ferroso y neutralizar con NaOH (Ostinelli & Carreira, 2010)	1350 (NaOH) 530 (FeSO ₄)
Nitrógeno	Nitrógeno Kjeldahl	Remoción de boro y cobre por precipitación y filtración con óxidos mixtos de Mg y Al. (Heredia et. al)	*Debe ser determinado
		Sustituir método Kjeldahl por el método Dumas de combustión automatizada (AOAC 2.4.02)	2750 - 4400 (combustor)** + Recuperación a largo plazo
Textura de suelo	Bouyoucos	Mayor cuidado al separar la fracción sólida de fracción líquida.	Sin costo
		Uso de una malla o tela a la hora de verter la parte líquida del contenido de las probetas en la alcantarilla.	50 (mallas o telas)
		Limpieza y mantenimiento de la trampa de sólidos en el buzón de alcantarilla.	100 (02 jornales)
Metales pesados, macro elementos y micro elementos	Digestión ácida	Rediseñar sistema de dispersión de burbujas en el interior del <i>scrubber</i> .	*Debe ser determinado
		Calcular adecuadamente las cantidades de NaOH necesarias para neutralizar los vapores ácidos.	665 (NaOH) 200 (CEMTRAR)
		Incluir costos de monitoreo, operación y mantenimiento para el <i>scrubber</i> ya existente.	*Debe ser determinado
		Implementar un nuevo <i>scrubber</i> en el área 1 del LASPAF.	*Debe ser determinado

*Se tendrá que realizar una investigación y luego un diseño para determinar los costos.

**Se toma en cuenta a vida útil de 30 años del equipo.

Fuente: elaboración propia

Una vez resueltos los problemas críticos de los métodos analíticos realizados en el laboratorio, aún queda por resolver algunos problemas del manejo general del LASPAF. En la siguiente lista, se incluye algunos de los aspectos que podrían ser implementados fácilmente y mejorarían significativamente el manejo de los residuos peligrosos.

- Todo trabajador debe contar con EPP en buen estado, tanto para protección del cuerpo (bata), de las manos (guantes), de los ojos (gafas cerradas) y de las vías respiratorias (mascarilla). Este último cuando se trabaja con ácidos fuertes o gases orgánicos volátiles.
- Los restos de suelo no deberían ser mezclados con desmonte de trabajos de construcción, este al estar libre de contaminación puede ser tratado como suelo e integrado a pilas de compost o directamente aplicado en suelos agrícolas de la misma universidad.
- Los contenedores de ácido sulfúrico, ácido clorhídrico (ver **Figura 5**) en presentación de bidones de 25 L y 35 L una vez usado el contenido deben ser neutralizados con NaOH (para evitar fluctuaciones en el pH del efluente) y luego enjuagados.
- Los bidones de 25 L y 35 L limpios y aquellos que están almacenados deberían ser utilizados como contenedores para descartar las sobras de dicromato de potasio y ácido sulfúrico utilizado en el método de Walkley y Black.
- Todo protocolo de laboratorio donde se trabaje con ácidos o bases debe incluir como etapa final la neutralización de las muestras, antes de ser descartadas y el material de vidrio lavado.

V. CONCLUSIONES

- Se han propuesto opciones para mejorar el manejo de los residuos peligrosos, efluentes y emisiones; se requiere implementar estas propuestas para mejorar el manejo de éstos en el LASPAF.
- Se han identificado y cuantificado residuos peligrosos, efluentes y emisiones generados por el LASPAF;
 - Residuos peligrosos: sedimentos con cromo.
 - Emisiones atmosféricas: vapores ácidos y dióxido de nitrógeno generados en la digestión ácida de las muestras de suelo y tejidos vegetales.
 - Efluentes: dicromato de potasio, sulfato ferroso, nitrógeno amoniacal, ácido bórico y sulfato de cobre. Los primeros tres provenientes del análisis de materia orgánica del suelo y los últimos dos provenientes del análisis de nitrógeno Kjeldahl.
- Se ha comparado los resultados de parámetros medidos en el LASPAF con las normativas vigentes; los siguientes parámetros incumplen con las siguientes normativas:
 - Residuos peligrosos (EPA 1311 - test TCLP): cromo total.
 - Emisiones atmosféricas (Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM): dióxido de nitrógeno.
 - Efluentes (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA): pH, sólidos suspendidos totales, boro, cromo total, nitrógeno amoniacal y sulfatos.
- Se propone reducir el impacto de la determinación de: materia orgánica por el método de Walkley y Black, nitrógeno Kjeldahl, textura de suelo por el método de Bouyoucos y metales pesados, macro y micro elementos específicamente en la digestión ácida. Las propuestas se centran en reducir las cantidades de residuos peligrosos generados, disponerlos adecuadamente o verterlos de manera segura.

VI. RECOMENDACIONES

La presente investigación ha generado una línea base sobre el manejo de las sustancias peligrosas en el LASPAF que no tiene precedente en este laboratorio ni en algún otro laboratorio de la UNALM. Se ha procurado realizar este estudio de la manera más detallada posible. No obstante, queda mucho por hacer, tanto a nivel del mismo laboratorio, como a nivel de toda la universidad.

Empezando por el LASPAF, es indispensable que se sigan las propuestas y recomendaciones descritas en el presente trabajo. De igual manera, es necesario realizar más investigaciones para profundizar en cada uno de los puntos críticos identificados en este estudio. En el subtítulo 4.4 “Propuesta para mejorar la gestión en el LASPAF”, se ha dado un crudo bosquejo de algunas de las posibles soluciones que podrían ser implementadas en el LASPAF. Idealmente, se deberían de generar nuevas investigaciones que se centren en resolver un punto crítico específico de la gestión de los residuos, efluentes y emisiones del laboratorio. Se espera que el presente documento sirva de punto de partida para futuras investigaciones que busquen implementar las propuestas y que éstas se puedan concretar al menor costo posible y velando por el bienestar de las personas y del ambiente.

En segundo lugar, se ve la necesidad inmediata de evaluar el estado de los demás laboratorios académicos dentro de la UNALM. Entre los estudios revisados, se encontró solo un trabajo de investigación que hayan tratado el problema de residuos peligrosos en la UNALM. Este se ha centrado en el problema bajo la preocupación de seguridad ocupacional y evaluación de riesgos (Barua & Guzmán, 2016). Se requiere un mayor número de investigaciones a nivel de laboratorio en la UNALM para lograr contar con un registro actualizado de las sustancias peligrosas que son utilizadas y descartadas en el campus universitario.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleman, I.; Guido, F. 2015. Comparación de dos técnicas para la determinación de carbono orgánico del suelo, en el LAFQA Departamento de Química, UNAN, Managua, Nicaragua, Setiembre - Diciembre, 2015 (en línea). Tesis, Licenciados en Química Ambiental. Managua, Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 155 p. Consultado 15 mar. 2019. Disponible en <https://repositorio.unan.edu.ni/2722>
- Alvarez de Weldefort, A; Campuzano Fernández, SE. 2015. Manejo de residuos peligrosos/biomédicos en los laboratorios de diagnóstico universitarios (en línea). Santafé de Bogotá, Colombia, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Ciencias de la Salud. 19 p. Consultado 12 oct. 2018. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd49/maneresi.pdf>
- Andrews, R. 2015. Hazardous waste disposal: an offal problem for laboratories (en línea, sitio web). Consultado 25 nov. 2018. Disponible en <https://www.thescientist.com/technology/hazardous-waste-disposal-an-offal-problem-for-laboratories-60896>
- Arango de la Cruz, J. 2015. Plan de manejo de residuos sólidos de la Pontificia Universidad Católica del Perú 2016-2020 (en línea). Lima, Perú, PUCP. 61 p. Consultado 05 oct. 2018. Disponible en <http://cdn01.pucp.education/climadecambios/wp-content/uploads/2017/08/21142405/plan-de-manejo-de-residuos-solidos-pucp-2016-2020.pdf>
- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2016. ToxFAQs™ - Óxidos de nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.) (Nitrogen Oxides) (en línea, sitio web). Consultado 08 jul. 2019. Disponible en http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html
- ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2016. ToxFAQs™ - Selenio (Selenium) (en línea, sitio web). Consultado 08 jul. 2019. Disponible en https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts92.html
- Bartle, P. 2011. Información para la gestión y gestión de la información (en línea, sitio web). Consultado 12 sep. 2018. Disponible en <http://cec.vcn.bc.ca/mpfc/modules/mon-miss.htm>
- Barua Arteaga, GJ; Guzmán Mallqui, RN. 2016. Identificación de peligros y evaluación de riesgos en el laboratorio fisicoquímico FQ-3 en La Molina Calidad Total Laboratorio (en línea). Tesis, Ing Pesquero. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 227 p. Consultado 12 may. 2019. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2861>

- Cárdenas, F; Díaz, M; Guajardo, C; Oliva MB. 2010?. Lixiviación de minerales mediante y bateas. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Departamentos de Ingeniería de Minas (en línea). Consultado 20 jun 2019 Disponible en https://www.u-cursos.cl/usuario/27d1b90415d4029652708fa347c18e40/mi_blog/r/1_lixiviacion_de_minerales_mediante_pilas_y_batea1.pdf
- CECO HEE-Duall (CECO Environmental). 2018. What is a Wet Scrubber?. (en línea, sitio web). Consultado 16 jun. 2019. Disponible en <https://www.cecoenviro.com/blog/what-is-a-wet-scrubber>
- Cenicafe. (Centro Nacional de investigaciones de Café, Colombia). 1985. Manual de laboratorio de suelos. (en línea). Consultado 08 jul. 2019. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/803>
- Comité Nacional de Hematología, Argentina. 1999. Manual de laboratorio de suelos. (en línea). Consultado 08 jul. 2019. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/803>
- CTR Scientific (Control Técnico y Representaciones S.A.). 2010. Hoja de datos de seguridad. Dicromato de potasio (en línea). Monterrey, Nuevo León, Mexico. Consultado 05 jul. 2019 Disponible en https://www.academia.edu/37506394/hoja_de_datos_de_seguridad_dicromato_de_potasio
- DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental, Peru). 2005. Protocolo de Calidad del Aire. (en línea). Consultado 01 de abr. 2019. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf
- DQI. (Distribuidora de Químicos Industriales S.A., Colombia). 2010. Ficha Técnica de Ácido Bórico . (en línea). Consultado 17 de jun. 2019. Disponible en <http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/acido%20borico.pdf>
- EPA (Environmental Protection Agency, Estados Unidos). 2018. Glosario ambiental bilingüe. (en línea, sitio web). Consultado 22 de sep. 2018. Disponible en <https://espanol.epa.gov/espanol/glosario-ambiental-bilingue>
- Estrada, J.; Villanueva, C.. 2015. Tratamiento de residuos peligrosos generados en laboratorios químicos. (en línea). Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marco. *Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM* , 135 - 138 pp Disponible en revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/11851/10578/
- Flores, L.; Alcalá, J.. 2010. Manual de Procedimientos Analíticos. (en línea). Ciudad de Mexico, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado 12 de oct. 2018 Disponible en <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manual%20del%20laboratorio%20de%20fisica%20de%20suelos1.pdf>

- Foss Analytics. 2018. Protein methods: Kjeldahl, Dumas or NIR analysis?. (en línea, sitio web). Consultado 20 de jun. 2019. Disponible en: <https://www.fossanalytics.com/en/news-articles/lab/protein-methods-kjeldahl-dumas-or-nir-analysis>
- García, J.; Ballesteros, M. 2005. Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos. (en línea) Revista colombiana de química. Consultado 28 de jun. 2019 Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/820>
- García, S. 17 de agosto de 2018. Generalidades de el LASPAF. (entrevista). La Molina, Lima, Peru.
- Gómez Moya, L. 2005. Gestión de los residuos sólidos en la Ciudad Universitaria Abel Santa María.. Tesis, Ing Química. Santa Clara, Cuba, *Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas*. 121 p. Consultado 04 sep. 2018. Disponible en <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/1092?show=full>
- Heller, J. 2017. Intoxicación con ácido bórico. (en línea, sitio web). Consultado 24 de jun. 2019. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002485.htm>
- Heredia, Angélica C.; Bálamo, Nancy F.; Fuente García-Soto, María del Mar de la; Narros Sierra, Adolfo y Crivello, Mónica E. (2017). Remoción de boro en agua empleando óxidos mixtos con metales alcalinotérreos sintetizados a partir de Hidróxidos Dobles Laminares. (en línea). Consultado 01 jul. 2019. Disponible en <http://oa.upm.es/50027/>
- Hernan Rodríguez, C. 2007. Nitrogeno total en agua por el método semi-micro Kjeldahl - Electrodo de amoniaco. (en línea). Bogota, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Consultado 29 de jun. 2019. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Nitr%C3%B3geno+Total+en+agua+M%C3%A9todo+Kjeldahl+Electrodo+de+Amoniaco.pdf/6eac7192-9d88-41cf-b4f0-7b5332467901>
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad, Perú). 2016. Instituto Nacional de Calidad, Información Institucional. (en línea, sitio web). Consultado 21 de sep. 2018. Disponible en <https://www.inacal.gob.pe/principal/categoria/acerca-de-inacal>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2004). NTP 668: Medición del caudal en sistemas de extracción localizada. (en línea). Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. Disponible en https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_668.pdf
- International Labour Organization (EU, WHO). 2010. International Chemical Safety Cards (ICSCs) Sodium Hydroxide. (en línea). Consultado 02 de jun. 2019. Disponible en https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0360&p_version=2

- Jordán, A. (2006). Manual de edafología de info Agroconstanza. (en línea). Consultado 4 de jun. 2019. Disponible en <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>
- Kondamudi, K. 2015. What is the chemical equation for the decomposition of sulfuric acid?. (en línea, sitio web). Consultado 24 de sep. 2018. Disponible en Quora: <https://www.quora.com/What-is-the-chemical-equation-for-the-decomposition-of-sulfuric-acid>
- Laboratorio Riscos. 2004. Guía de reactivos de laboratorio ácido nítrico. (en línea). Barcelona, España. Consultado 21 de sep. 2018. Disponible en https://www.uab.cat/doc/DOC_RiscosLab13_DF_Guia_us_Acid_Nitric
- LASPAF-UNALM (Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes). 2017. Descripción del laboratorio. (en línea, sitio web). Consultado 17 de sep. 2018. Disponible en <http://www.laspaf.com/nosotros>
- Lozano, J. 2016. Análisis de la Gestión de Residuos Peligrosos Generados en el Laboratorio de Control de Calidad en Eurofarma Colombia SAS. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, (en línea). Tesis, Ingeniero Industrial. 87 p. Consultado 03 de nov. 2018. Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2952/1/LozanoJeisonFabian2016.pdf>
- Martinelle, K.; Häggström, L. 1993. Mechanisms of ammonia and ammonium ion toxicity in animal cells: transport across cell membranes. (en línea) Journal of Biotechnology. Consultado 7 de jun. 2019. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7764110>
- McKean, S. 1993. Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. (en línea). Biblioteca Centro Internacional de Agricultura Tropical. Consultado 8 de jul. 2019. Disponible en http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_t%C3%A9cnica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf
- National Research Council (NRC). 1995. Prudent Practices in the Laboratory. (en línea). Washington, D.C.: National Academy Press. Consultado 05 de sep. 2018. Disponible en <https://www.nap.edu/catalog/12654/prudent-practices-in-the-laboratory-handling-and-management-of-chemical>
- Nieto Alcazar, J. 2016. Propiedades químicas del suelo. (en línea). Consultado 7 de jun. 2019. Disponible en <https://docplayer.es/13395855-Tema-3-propiedades-quimicas-del-suelo-los-elementos-quimicos-en-el-suelo-capacidad-de-intercambio-cationico-el-ph-suelo-conductividad-electrica.html>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2018. *Calidad del aire y salud*. Consultado 26 de jun. de 2019. Disponible en Datos y cifras NO2: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- Osicka, R., Benitez, M.; Giménez, M. 2004. Gestión y manejo de residuos químicos en el laboratorio : Una manera de prevenir la contaminación del medio ambiente. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Ossa, K.; Aguirre, V. 2007. Elaboración del plan para la gestión de residuos químicos del laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira (en línea). Universidad Tecnológica de Pereira. Consultado 16 de sep. 2018. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/823/62844084.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ostinelli, M.; Carreira, D. (2010). Gestion de residuos en un laboratorio de análisis de suelos. (en línea). XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Consultado 09 de sep. 2018. Disponible en <https://estrucplan.com.ar/articulos/gestion-de-residuos-en-un-laboratorio-de-analisis-de-suelos>
- PanReac Química SLU. 2017. Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldahl. (en línea) Castellar del Vallès, España: ITW Reagents. Consultado 13 de jun. 2019. Disponible en https://www.itwreagents.com/download_file/brochures/A173/es/A173_es.pdf
- Peirce, J. J.; Weiner, R. F.; Aarne, V. P. 1998. Environmental Pollution and Control (4 edición ed.): Chapter 21 - Air Pollution Control) Oxford: Butterworth-Heinemann. (en línea). Consultado 03 de jul. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750698993500225>
- Porta Casanellas, J.; López-Acevedo Reguerín, M.; Roquero de Laburu, C. 1994. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. (en línea) Barcelona: Mundi Prensa. Consultado 07 de jun. 2019. Disponible en <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre03.pdf>
- Purwono, A., Muhammad, H.; Mochamad, A. 2017. Ammonia-Nitrogen (NH₃-N) and Ammonium-Nitrogen (NH₄ + -N) Equilibrium on The Process of Removing Nitrogen By Using Tubular Plastic Media. (en línea). Journal of Materials and Environmental Science. Consultado 19 de nov. 2018. Disponible en https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol8/vol8_NS/522-JMES-2876-Purwono.pdf
- Química UNAM. 2014. Hoja de seguridad XIV. Dicromato de potasio. (en línea). Ciudad de Mexico, Mexico. Consultado 21 de jun. 2019. Disponible en <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/14dicromatok.pdf>
- Rogoff, M. J.; Screve, F. 2012. Waste-to-Energy Technologies and Project Implementation: Chapter 5 - Waste flow control. (en línea). South Yorkshire. Consultado 20 de jun. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/book/9781437778717/waste-to-energy>
- Sallato, B. C. 2017. El mito de las diferencias ente nitrógeno Kjeldahl y Dumas. (en línea, sitio web). Consultado 20 de jun. de 2018. Disponible en <http://www.redagricola.com/cl/mito-las-diferencias-nitrogeno-kjeldahl-dumas/>

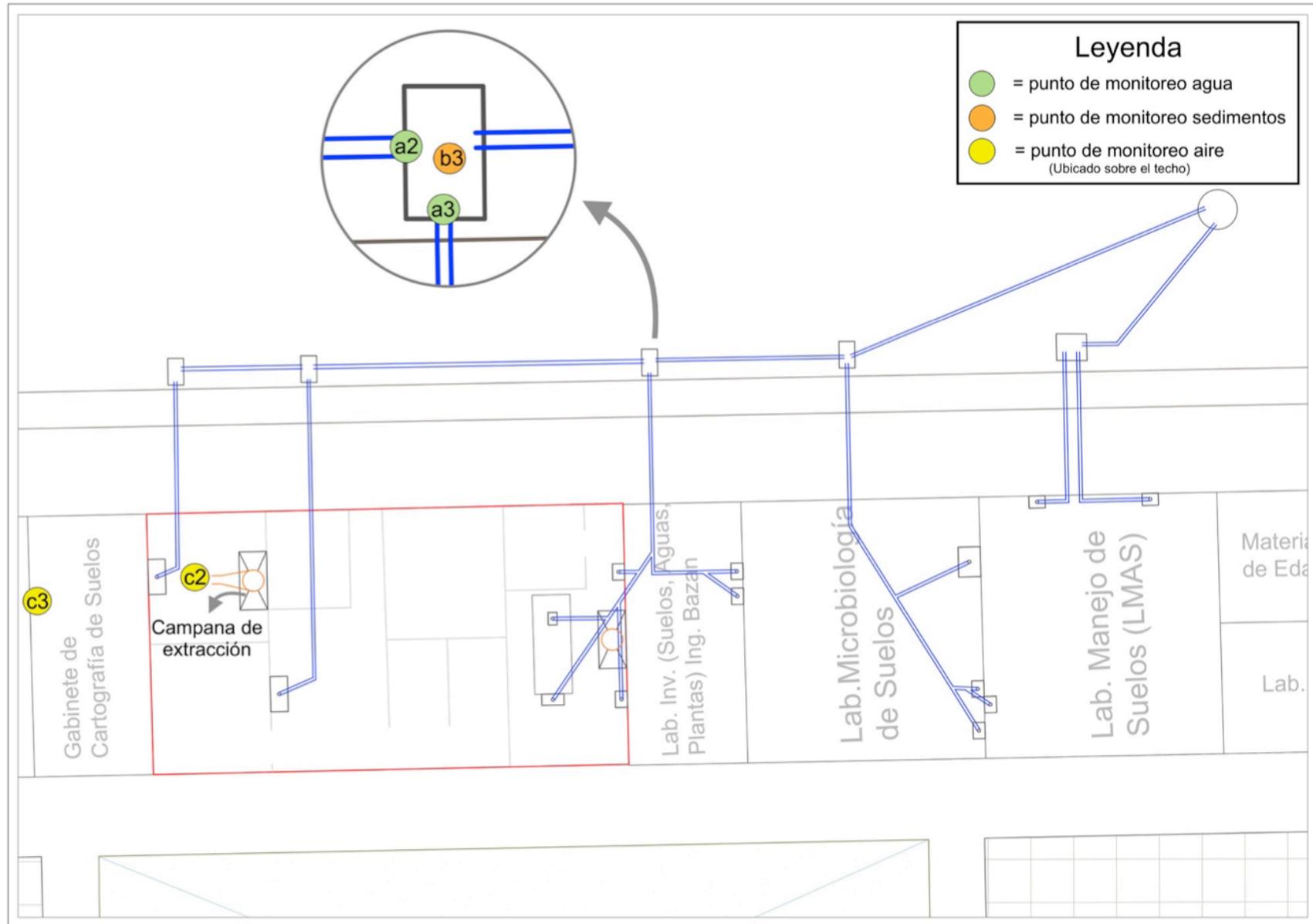
- Sánchez, C. 2014. Propuesta de plan de manejo de residuos peligrosos generados en la Universidad del Mar, Campus Puerto. *Universidad del Mar* .
- Schmitter, B. M., & Rihs, T. 1989. Evaluation of a macro-combustion method for total nitrogen determination in feedstuff. (en línea) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Consultado 02 de jul. de 2019. Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf00088a038>
- Scottish Environmental Protection Agency. 2012. Scottish pollutant release inventory. (en línea) Scottish Environmental Protection Agency, Edinburg. Consultado 29 de jun. de 2019. Disponible en <https://www.sepa.org.uk/environment/environmental-data/spri/>
- Spanierman, C. S. 2019. Iron Toxicity. (en línea, sitio web). Medscape. Consultado 27 de jun. de 2019. Disponible en <https://emedicine.medscape.com/article/815213-overview>
- Sweeney, R., & Rexroad, P. 1987. Comparison of LECO FP-228 "nitrogen determinator" with AOAC copper catalyst Kjeldahl method for crude protein. (en línea) *J Assoc Off Anal Chem*. Consultado 17 de jun. de 2019. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3436896>
- TOXNET. 2017. Toxicology Data Network. (en línea, sitio web) Copper(II) Sulfate, Pentahydrate. Consultado 01 de jun. 2019. Disponible en <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~Wa3Ffe:3>
- U.S. Environmental Protection Agency. 2015. Integrated Risk Information System (IRIS) Summary on Chromium (VI). (en línea, sitio web) Consultado 01 de jul. 2019. Disponible en <http://www.epa.gov/iris/>
- UNALM. 2015. Estatuto Universitario. (en línea) Consultado 10 de sep. de 2018. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/rectorado/transparencia2/rectorado/estatuto.pdf>
- US DHEW (United States Department of Health, Education, and Welfare). 1962. *Drinking water standards*. (en línea). Washington DC: US Government Printing Office. Consultado 18 de sep. de 2018. Disponible en <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=2000TP5L.TXT>
- Woodard & Curran, Inc. (2006). *Industrial Waste Treatment Handbook: Chapter 8 Treatment of Air Discharges from Industry*. (en línea) Oxford: Butterworth-Heinemann. Consultado 09 de jun. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/book/9780750679633/industrial-waste-treatment-handbook>
- World Health Organization (WHO). 2004. *Sulfate in Drinking-water*. (en línea). Consultado 12 de jun. 2019. Disponible en https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf

VIII. ANEXOS

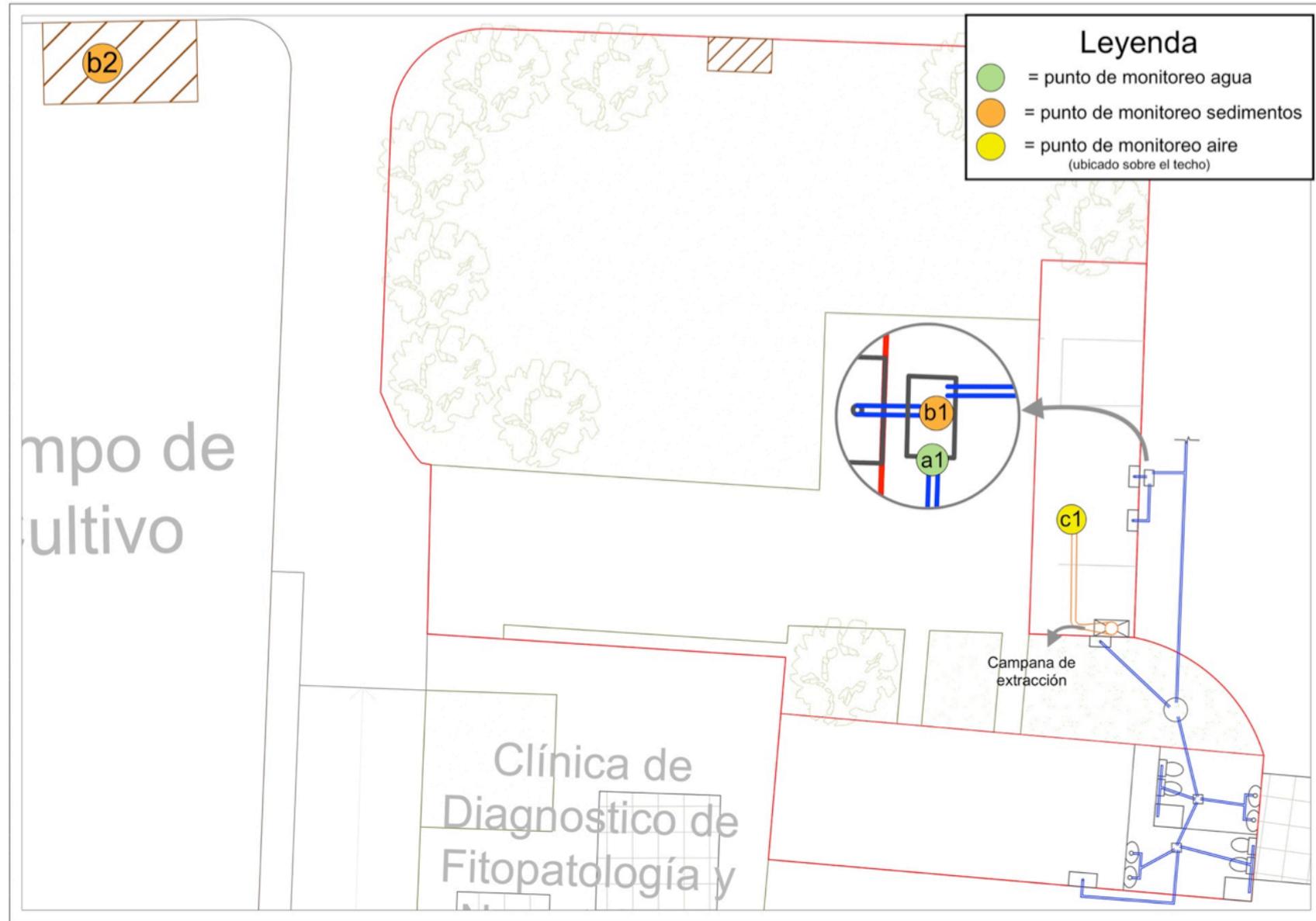
Anexo 1: Esquema del LASPAF e identificación de tuberías.



Anexo 2: Esquema del área 1 del LASPAF y puntos de muestreo.



Anexo 3: Esquema del área 2 del LASPAF y puntos de muestreo.





Metodologías empleadas en el Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Aguas, y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Análisis en agua

1. pH: Método potenciométrico
2. Conductividad eléctrica: Lectura con conductivímetro
3. Cationes solubles (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+): Lectura directa empleando Espectrofotometría de absorción atómica.
4. Aniones solubles, lectura directa empleando:
 - a. NO_3 (meq/L): Colorimetría empleando ácido salicílico
 - b. CO_3 (meq/L): Titulación con NaOH en presencia de indicador fenolftaleína
 - c. HCO_3 (meq/L): Titulación con NaOH en presencia de indicador anaranjado de metilo
 - d. SO_4 (meq/L): Turbidimetría empleando cloruro de bario
 - e. Cl (meq/L): Volumetría empleando nitrato de plata en presencia de indicador cromato de potasio
 - f. Boro soluble (mg/L): Colorimetría empleando el método de curcumina acética
5. Microelementos solubles, lectura directa empleando:
 - a. Fe (mg/L): Espectrofotometría de absorción atómica
 - b. Cu (mg/L): Espectrofotometría de absorción atómica
 - c. Zn (mg/L): Espectrofotometría de absorción atómica
 - d. Mn (mg/L): Espectrofotometría de absorción atómica
6. Metales pesados solubles Pb, Cd, Cr total (mg/L) , lectura directa empleando: Espectrofotometría de absorción atómica
7. Fosfato soluble (mg/L): Colorimetría empleando reactivo sulfomolibdico
8. N amoniacal (mg/L): Volumetría por reacción con formaldehído
9. Carbono orgánico (mg/L): Analizador total de carbono TOC-L Shimadzu
10. Sólidos en suspensión (mg/L): Filtración y posterior secado y gravimetría
11. Sólidos solubles totales (mg/L): Evaporación y posterior gravimetría

Nota: Las determinaciones antes descritas, se han tomado principalmente del libro de **Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas** de Homer D. Chapman y Parker F. Pratt. Editorial Trillas, México, 1973.



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES LASPAF

Metodologías empleadas en el Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Aguas, y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Análisis en tejido vegetal

1. Materia seca: Diferencia de peso, gravimetría.
2. Humedad: Diferencia de peso, gravimetría.
3. Nitrógeno: Método de Kjeldahl.
4. Fósforo: Método del azul de molibdeno.
5. Potasio: Espectrofotometría de absorción atómica.
6. Calcio: Espectrofotometría de absorción atómica.
7. Magnesio: Espectrofotometría de absorción atómica.
8. Sodio: Espectrofotometría de absorción atómica.
9. Azufre: Método turbidimétrico empleando el cloruro de bario.
10. Hierro: Espectrofotometría de absorción atómica.
11. Cobre: Espectrofotometría de absorción atómica.
12. Zinc: Espectrofotometría de absorción atómica.
13. Manganeso: Espectrofotometría de absorción atómica.
14. Boro: Método colorimétrico empleando la curcumina disuelta en ácido acético glacial.
15. Cloro: Como cloruro, método volumétrico empleando nitrato de plata.
16. Cenizas: Calcinación o acenización a 500 °C.
17. Carbono: Método de Walkley y Black modificado, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. Método alternativo: estimación a partir del peso perdido por calcinación de la muestra.
18. Plomo: Espectrofotometría de absorción atómica.
19. Cadmio: Espectrofotometría de absorción atómica.
20. Cromo: Espectrofotometría de absorción atómica.

Nota: Las determinaciones antes descritas, se han tomado principalmente del libro de **Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas** de Homer D. Chapman y Parker F. Pratt. Editorial Trillas, México, 1973.



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES LASPAF

Metodologías empleadas en el Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Aguas, y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Análisis en suelos

1. pH ó reacción del suelo: Medición el potenciómetro de la suspensión de suelo:agua en relación 1:1.
2. Conductividad eléctrica: Lectura con conductivímetro en el extracto acuoso en la relación suelo:agua o en el extracto de la pasta de saturación.
3. Calcáreo total (CaCO_3): Método gasovolumétrico utilizando un calcímetro.
4. Carbono orgánico: Método de Walkley y Black modificado, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.
5. Materia orgánica: Conversión del carbono orgánico multiplicado por el factor 1.724.
6. Fósforo disponible: Método de Olsen modificado, extracción con NaHCO_3 0.5N, pH 8.5.
7. Potasio disponible: Extracción con acetato de amonio y lectura por espectrofotometría de absorción atómica.
8. Textura del suelo: Método del hidrómetro, cuantificación del contenido de arena, limo, y arcilla en por ciento.
9. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Saturación del complejo arcillo-húmico con acetato de amonio, y posterior destilación del nitrógeno por Kjeldahl.
10. Bases cambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+): Reemplazo de los cationes adsorbidos con el acetato de amonio y posterior cuantificación de los cationes por espectrofotometría de absorción atómica.
11. Acidez cambiante ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$): Método de Yuan, extracción con KCl 1N y posterior titulación con NaOH.
12. Cationes solubles (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+): Obtención de extracto mediante pasta saturada y posterior cuantificación de los cationes por espectrofotometría de absorción atómica.
13. Aniones solubles (NO_3^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-): Obtención de extracto mediante pasta saturada y posterior cuantificación de los aniones por diferentes metodologías.
14. Nitratos: Método del ácido salicílico en medio alcalino.
15. Carbonatos: Método volumétrico. Titulación con solución de ácido sulfúrico usando el indicador fenolftaleina.
16. Bicarbonatos: Método volumétrico. Titulación con solución de ácido sulfúrico usando el indicador anaranjado de metilo.
17. Sulfatos: Método turbidimétrico (precipitación con cloruro de bario).
18. Cloruros: Método volumétrico. Titulación con solución de nitrato de plata usando como indicador cromato de potasio.



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES LASPAF

19. Boro: Método colorimétrico. Curcumina en ácido acético glacial.
20. Elementos menores disponibles (Fe, Cu, Zn, Mn): Extracción con solución de Hunter (solución con EDTA y bicarbonato de sodio) y posterior cuantificación de los elementos por Espectrofotometría de absorción atómica.
21. Nitrógeno total: Método de Kjeldahl.
22. Humedad Gravimétrica: Gravimetría. Diferencia de pesos.
23. Coeficientes hídricos (capacidad de campo y punto de marchitez): Método de la humedad equivalente, centrifugación a 2000 rpm durante 30 minutos y posterior cuantificación de la humedad por gravimetría.
24. Densidad aparente: Método del cilindro de metal. Método alternativo: Terrón con parafina.
25. Densidad real: Método del picnómetro.

Nota: Las determinaciones antes descritas, se han tomado principalmente del libro de **Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas** de Homer D. Chapman y Parker F. Pratt. Editorial Trillas, México, 1973.



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES LASPAF

Metodologías empleadas en el Laboratorio de análisis de Suelos, Plantas, Aguas, y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Análisis en materias orgánicas

1. Materia seca: Diferencia de peso luego de secado a estufa, gravimetría.
2. Humedad: Diferencia de peso luego de secado a estufa, gravimetría.
3. Sólidos totales (en materias orgánicas líquidas): Diferencia de peso luego de secado a estufa, gravimetría.
4. Cenizas: Calcinación o acenización a 500 °C.
5. Materia orgánica: Calcinación o acenización a 500 °C, por diferencia con el contenido de cenizas.
6. Carbono orgánico: Método de Walkley y Black modificado, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. Método alternativo: estimación como el 58 % de la materia orgánica obtenida por calcinación de la muestra.
7. Nitrógeno: Método de Kjeldahl.
8. Fósforo: Método del azul de molibdeno. Método alternativo: amarillo del vanadato-molibdato.
9. Potasio: Espectrofotometría de absorción atómica.
10. Calcio: Espectrofotometría de absorción atómica.
11. Magnesio: Espectrofotometría de absorción atómica.
12. Sodio: Espectrofotometría de absorción atómica.
13. Azufre: Método turbidimétrico empleando cloruro de bario.
14. Hierro: Espectrofotometría de absorción atómica.

15. Cobre: Espectrofotometría de absorción atómica.
16. Zinc: Espectrofotometría de absorción atómica.
17. Manganeso: Espectrofotometría de absorción atómica.
18. Boro: Método colorimétrico empleando curcumina disuelta en ácido acético glacial.
19. Cloro: Como cloruro, método volumétrico empleando nitrato de plata.
20. pH: Potenciometría. Determinación en pasta saturada.
21. Conductividad eléctrica: Medición indirecta del contenido de sales solubles en el extracto acuoso obtenido de la pasta saturada.
22. Plomo: Espectrofotometría de absorción atómica.
23. Cadmio: Espectrofotometría de absorción atómica.
24. Cromo: Espectrofotometría de absorción atómica.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : ANTONIO MIRES VALDEZ

PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA

REFERENCIA : H.R. 68345

FECHA : 04/06/19

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	B ppm	SO ₄ ppm	Sólidos en suspensión ppm	Nitrógeno amoniacoal ppm
1604	1	1.59	4.24	0.75	1024.80	80.33	194.32
1605	2	1.85	3.53	1.99	1020.00	25.33	122.64
1606	3	12.02	3.96	8.55	1009.92	301.67	2.80
1607	4	7.14	3.18	1.22	705.12	8.67	8.96
1608	5	7.58	0.65	0.84	180.96	12.33	9.52
1609	6	1.27	16.1	0.57	4500.00	88.33	1032.08
1610	7	6.64	2.22	1.16	537.12	7491.00	10.64
1611	8	6.65	2.34	0.80	357.12	159.50	12.32
1612	9	7.44	3.11	1.12	844.80	5.67	6.72
1613	10	1.21	11.30	0.85	2534.88	55.33	776.72
1614	11	5.08	2.42	0.50	829.92	136.67	57.12
1615	12	6.67	0.61	1.30	*	5269.00	49.84
1616	13	0.98	13.80	3.72	879.84	382.00	401.52
1617	14	7.41	3.06	0.75	810.24	36.67	7.84
1618	15	0.55	50.60	1.27	24300.00	217.33	6634.32
1619	16	1.15	6.97	0.55	1675.20	88.67	334.32
1620	17	6.35	0.52	0.60	*	4820.00	43.12
1621	18	10.35	2.72	5.24	579.84	124.33	9.52
1622	19	7.42	3.06	0.76	705.12	7.00	7.84

* muestra oscura.

Dr. Sady García Bendezú
 Jefe de Laboratorio



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : ANTONIO MIRES VALDEZ
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
 REFERENCIA : H.R. 68345
 FECHA : 04/06/19

Nº LAB	CLAVES	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Cd ppm	Pb ppm	Cr ppm
1604	1	0.08	0.030	0.111	0.011	0.243	17.95
1605	2	0.37	0.042	0.490	0.025	0.159	14.93
1606	3	0.05	0.049	0.010	0.009	0.126	0.007
1607	4	0.06	0.051	0.010	0.011	0.174	0.010
1608	5	0.07	0.059	0.003	0.004	0.113	0.218
1609	6	2.49	0.098	0.927	0.023	0.253	111.7
1610	7	0.07	0.024	0.136	0.004	0.131	2.81
1611	8	0.06	0.032	0.014	0.004	0.150	0.010
1612	9	0.06	0.015	0.012	0.004	0.176	0.011
1613	10	0.06	0.310	0.845	0.007	0.149	37.8
1614	11	0.05	0.193	0.119	0.006	0.101	0.575
1615	12	0.21	0.841	0.194	0.014	0.456	0.196
1616	13	0.53	0.750	0.564	0.017	0.168	0.010
1617	14	0.03	0.025	0.015	0.004	0.121	0.009
1618	15	0.06	0.306	0.092	0.035	0.301	598.0
1619	16	0.29	0.471	0.697	0.004	0.189	34.5
1620	17	0.30	0.726	0.241	0.004	0.395	0.275
1621	18	0.06	0.031	0.009	0.004	0.118	0.010
1622	19	0.04	0.036	0.008	0.004	0.046	0.010

Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ANTONIO MIRES VALDEZ

PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA

REFERENCIA : H.R. 68347

FECHA : 28/05/2019

Número Muestra		C.E (1:1) dS/m	Pb ppm	Cr ppm
Lab	Claves			
1623	S- b3	11.00	56.91	11.50

Dr. Salvador García Bendejú
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ANTONIO MIRES VALDEZ
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : SEDIMENTOS
REFERENCIA : H.R. 68346
FECHA : 30/05/19

Nº LAB	CLAVES	C.E. dS/m	Pb ppm	Cr ppm
445	S-b1-61	15.20	34.09	42.20
446	S-b2-62	16.90	35.12	378.40


Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Anexo 11: Valores regulatorios EPA 1311 (TCLP Test)

COMPOUND	CAS No.	CRDL (mg/L)	Regulatory Level (mg/L)	Spiking Level (mg/L)
Arsenic	7440-38-2	0.50	5.0	2.5 - 5.0
Barium	7440-39-3	1.0	100	50 - 100
Cadmium	7440-43-9	0.10	1.0	0.5 - 1.0
Chromium	7440-47-3	0.50	5.0	2.5 - 5.0
Lead	7439-92-1	0.50	5.0	2.5 - 5.0
Mercury	7439-97-6	0.02 ^a	0.2	0.1 - 0.2
Selenium	7782-49-2	0.10	1.0	0.5 - 1.0
Silver	7440-22-4	0.50	5.0	2.5 - 5.0

^a Mercury analysis is to be performed using 10 mL aliquots diluted to 100 mL. The CRDL has been adjusted to account for this 10 X dilution.

Anexo 12: Estimación de Sólidos generados en medición de textura

Número de muestras	100
Suelo en cada muestra (g)	50
Suelo total (g)	5000

Peso de bandeja (g)	576
Peso de bandeja + suelo seco (g)	3726
Suelo seco (g)	3150

Suelo escurrido (g)	1850
----------------------------	-------------

Anexo 13: Estimación de FeSO₄·7H₂O necesario para reducir cromo VI (Walkley & Black).

Compuesto	Formula	Peso utilizado (g) por muestra	Peso Molecular (g/mol)	Pureza (%)	Cantidad por muestra (mol)
Dicromato de potasio	K ₂ Cr ₂ O ₇	0.990	294.19	98	0.00330
Sulfato ferroso heptahidratado	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.965	278.05	95	0.00330

	Muestras trabajadas al año	Peso total (kg)	Precio por kg (S/.)	Precio total (S/.)
Sulfato ferroso heptahidratado	18215	17.58	30	527.46

Anexo 14: Estimación de NaOH anual necesario para neutralizar ácido sulfúrico (Walkley & Black).

Compuesto	Formula	Densidad (g/cm ³)	Peso Molecular (g/mol)	Pureza (%)
Ac. Sulfúrico	H ₂ SO ₄	1.84	98.079	96
Hidroxido de sodio	NaOH	-	39.997	100

Compuesto	Formula	Volumen por muestra (mL)	Volumen Total (mL)	Volumen Puro (mL)	Cantidad (mol)
Ac. Sulfúrico	H ₂ SO ₄	10.00	182150.00	174864.00	3280.52

Compuesto	Formula	Masa total por muestra (g)	Masa total (kg)	Masa pura (g)	Cantidad (mol)
Hidroxido de sodio	NaOH	7.20	131.21	131210.81	3280.52

Anexo 15: Estimación de NaOH anual necesario para neutralizar vapor ácido (análisis tejido vegetal).

Compuesto	Formula	Densidad (g/cm ³)	Peso Molecular (g/mol)	Pureza (%)
Ac. Perclórico	HClO ₄	1.67	100.46	70
Ac. Nítrico	HNO ₃	1.51	63.01	65
Hidroxido de sodio	NaOH	-	39.997	98

Compuesto	Formula	Volumen por muestra (mL)	Volumen Total (mL)	Volumen Puro (mL)	Cantidad (mol)
Ac. Perclórico	HClO ₄	2.50	15775.00	11042.50	183.57
Ac. Nítrico	HNO ₃	12.50	78875.00	51268.75	1228.63

Compuesto	Formula	Volumen por muestra (mL)	Masa total (kg)	Masa pura (g)	Cantidad (mol)
Hidroxido de sodio	NaOH	8.95	56.483	56483.47	1412.19

Anexo 16: Estimación de NaOH anual necesario para neutralizar vapor ácido (análisis suelo).

Compuesto	Formula	Densidad (g/cm ³)	Peso Molecular (g/mol)	Pureza (%)
Ac. Perclórico	HClO ₄	1.67	100.46	70
Ac. Nítrico	HNO ₃	1.51	63.01	65
Hidroxido de sodio	NaOH	-	39.997	98

Compuesto	Formula	Volumen por muestra (mL)	Volumen Total (mL)	Volumen Puro (mL)	Cantidad (mol)
Ac. Perclórico	HClO ₄	1.33	4857.33	3400.13	56.52
Ac. Nítrico	HNO ₃	6.67	24286.67	15786.33	378.31

Compuesto	Formula	Volumen por muestra (mL)	Masa total (kg)	Masa pura (g)	Cantidad (mol)
Hidroxido de sodio	NaOH	4.77	17.392	17392.02	434.83

**Asumiendo que 20% de total de muestras de suelo también soliciten un análisis de metales pesados.