

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AGUA Y SUELO CAUSADA
POR CEMENTERIOS EN LOS CANTONES QUITO, MEJÍA Y RUMIÑAHUI**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN SUELO
OCASIONADA POR CEMENTERIOS EN LA PROVINCIA DE
PICHINCHA-ECUADOR.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

BETZABETH KELYN QUISHPE GÓMEZ
(betzabeth.quishpe@epn.edu.ec)

DIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL
(maria.aldas@epn.edu.ec)

Quito, febrero de 2023

CERTIFICACIONES

Yo, BETZABETH KELYN QUISHPE GÓMEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

BETZABETH KELYN QUISHPE GÓMEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por BETZABETH KELYN QUISHPE GÓMEZ, bajo mi supervisión.

MARÍA BELÉN ALDAS S.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

BETZABETH KELYN QUISHPE GÓMEZ

MARÍA BELÉN ALDAS SANDOVAL

DEDICATORIA

“La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo”

-Nelson Mandela

La mejor parte de mi trabajo realizado durante todos estos años transcurridos en mi carrera universitaria, se lo dedico a mis padres, Carlos Quishpe y Carmen Gómez, porque con mucho esfuerzo, trabajo y amor me han dado todo lo necesario, no solo en el aspecto económico sino también en valores, para que yo pueda formarme como un excelente ser humano y profesional, de tal manera que yo misma con mucho esfuerzo y perseverancia pueda construirme un futuro mejor.

A mis hermanos, Carlos y Mateo, quienes han estado apoyándome y dándome ánimos cuando se me han presentado dificultades.

A todos mis amigos más cercanos, quienes estuvieron a mi lado cuando necesitaba ayuda, siempre brindándome su apoyo y deseándome lo mejor para que pueda alcanzar las metas que me he propuesto en la vida personal y académica.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica, institución de educación superior de excelencia académica por haberme abierto sus puertas para formarme en esta profesión de Ingeniería Ambiental. Y, por influir en mi desarrollo ético e imprimir principios encomiables como la disciplina y la dedicación.

A la Ing. María Belén Aldás, por asumir la responsabilidad de guiar mi proyecto de Integración Curricular, por su paciencia, dedicación y tiempo brindados para facilitar la realización de este trabajo.

A ciertos profesores quienes, que, con un alto sentido ético, paciencia y vocación me impartieron su conocimiento, contribuyendo en la formación de esta profesión.

A mis amigos y compañeras de carrera que hicieron de mi experiencia universitaria más placentera. Por los momentos gratos y las buenas experiencias vividas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Cementerios – Descomposición de cadáveres	3
1.4.1.1 Cementerios	3
1.4.1.2 Descomposición de cadáveres	4
1.4.2 Suelo y contaminación	5
1.4.2.1 Contaminación del suelo.....	6
1.4.3 Factores que influyen en la contaminación del suelo.....	8
1.4.4 Situación mundial	8
1.4.5 Situación del Ecuador.....	10
1.4.6 Normativa Ambiental	11
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1 Caracterización de la zona.....	12
2.1.2 Área de estudio	12
2.2 Recolección de muestras.....	15
2.2.1 Selección de puntos	15

2.2.2 Técnica de muestreo	17
2.3 Análisis de parámetros en laboratorio	18
2.3.1 Determinación de la materia orgánica	18
2.3.2 Determinación de nitratos.....	19
2.3.3 Determinación de textura	20
2.3.4 Determinación de pH.....	20
2.3.5 Determinación de metales.....	21
2.4 Análisis comparativo de los resultados	21
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
3.1 Resultados.....	22
3.1.1 Resultados de la caracterización de las muestras comparando con la normativa ambiental.....	26
3.1.1.1 Resultados del pH comparando con el valor del límite permisible (VLP) de la normativa ambiental-Anexo 2 del TULSMA.....	26
3.1.1.2 Concentración de la materia orgánica comparando con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000	34
3.1.1.3 Concentración de los metales comparando con la normativa ambiental- Anexo 2 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente	40
3.1.2 Comparación del nivel de contaminación de los cementerios entre las dos épocas en base a los parámetros determinados	43
3.1.2.2 Comparación de los nitratos determinados	46
3.1.2.3 Comparación de la concentración de metales.....	50
3.2 CONCLUSIONES	53
3.3 RECOMENDACIONES	54
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
5 ANEXOS	60
ANEXO I. Clasificación del porcentaje de pendiente por la FAO.	60
.....	60

ANEXO II. Criterios de calidad del suelo de acuerdo con la Norma de Calidad Ambiental de Recurso Suelo y Criterios de Remediación para los suelos contaminados-Anexo 2.	61
ANEXO III. Criterios según USDA para la clasificación del suelo en función del pH.	61
ANEXO IV. Criterios según la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000 para la clasificación del suelo en función de la materia orgánica.	62
ANEXO V. Tablas para realizar las gráficas de los resultados de cromo y plomo obtenidas antes y dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno.	62
ANEXO VI. Evidencias fotográficas de los muestreos	63
ANEXO VII. Ejemplo de la cadena de custodia y registro utilizada para el control del muestreo	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Categorización de cementerios en el centro de Ecuador. A= Nanegal; B= Tumbaco; C= Caldera norte.....	11
Figura 2. Mapa de ubicación con los cementerios críticos en la provincia de Pichincha.	13
Figura 3. Mapa de ubicación con los cementerios seleccionados en la provincia de Pichincha.....	14
Figura 4. Climatología en la región andina.....	15
Figura 5. Selección del punto de muestreo dentro del cementerio.....	16
Figura 6. Esquematación d Penetración de suelos.....	17
Figura 7. Trípode del equipo de penetración.....	17
Figura 8. Muestra de suelo en la barra de perforación.....	18
Figura 9. Recolección de la muestra de suelo en campo.....	18
Figura 10. Pesaje de las muestras.....	19
Figura 11. Ingreso de las muestras en la estufa.....	19
Figura 12. Conservación de las muestras en el desecador.....	19
Figura 13. Calcinación de las muestras en la mufla.....	19
Figura 14. Muestras restantes de los tamices para ser secadas.....	20
Figura 15. Agitación de las muestras.....	21
Figura 16. Medición de pH de la muestra.....	21
Figura 17. Concentración de la materia orgánica obtenida en el punto de muestreo antes de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.....	43
Figura 18. Concentración de la materia orgánica obtenida en el punto de muestreo dentro de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.....	44
Figura 19. Comparación de la materia orgánica obtenida en el punto de muestreo después de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.....	45
Figura 20. Concentración de los nitratos obtenidos en el punto de muestreo antes de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.....	47
Figura 21. Concentración de los nitratos obtenidos en el punto de muestreo dentro de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.....	48
Figura 22. Concentración de los nitratos obtenidos en el punto de muestreo después de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.....	49
Figura 23. Concentración de los nitratos en el punto de muestreo después de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las profundidades. De 2.5 m y 3 m. Elaborado por: Quishpe, B (2024).....	50

Figura 24. Concentraciones de plomo obtenida antes del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno.	51
Figura 25. Concentraciones de cromo obtenida dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno. Elaborado por: Quishpe, B (2024).	52
Figura 26. Concentraciones de plomo obtenida dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5m y 3m, en la época seca y de invierno.	52
Figura 27. Clasificación del porcentaje de pendiente por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).	60
Figura 28. Criterios de calidad de la Norma de Calidad Ambiental de Recurso Suelo y Criterios de Remediación para los suelos contaminados.	61
Figura 29. Criterios según USDA para la clasificación del suelo en función del pH.	61
Figura 30. Criterios según la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000 para la clasificación del suelo en función de la materia orgánica.	62
Figura 31. Punto de muestreo dentro del cementerio de Tambillo.	63
Figura 32. Punto de muestreo dentro del cementerio de La Libertad de Chillogallo.	63
Figura 33. Punto de muestreo antes del cementerio de Aloasí.	64
Figura 34. Punto de muestreo dentro del cementerio de Guangopolo.	64
Figura 35. Punto de muestreo dentro del cementerio de Uyumbicho.	64
Figura 36. Punto de muestreo dentro del cementerio de Nanegal.	65
Figura 37. Punto de muestreo dentro del cementerio de Nanegal.	65
Figura 38. Punto de muestreo dentro del cementerio de Puéllaro.	65
Figura 39. Cadena de custodia y registro utilizado para el control de la toma de muestras en el cementerio de Lumbisí.	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cementerios seleccionados dentro de la provincia de Pichincha	14
Tabla 2. Pendientes de los cementerios y clasificación por la Organización de las Naciones Unidas y la Agricultura (FAO).....	16
Tabla 3. Textura de las muestras de los cementerios.....	22
Tabla 4. Concentración de nitratos de los cementerios en la época seca.....	24
Tabla 5. Concentración de nitratos de los cementerios en la época lluviosa	25
Tabla 6. Resultados obtenidos del pH en los cementerios Tambillo, La Libertad de Chillogallo y Nanegal en comparación con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2	27
Tabla 7. Resultados obtenidos del pH los cementerios de Aloasí, Lumbisí y Uyumbicho con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2.....	29
Tabla 8. Comparación de los resultados obtenidos del pH en los cementerios de Tababela y Guangopolo con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2	31
Tabla 9. Resultados obtenidos del pH en los cementerios de Descanso Eterno y Chavezpamba con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2.....	32
Tabla 10. Comparación de los resultados obtenidos del pH en los cementerios de Puéllaro y Nono con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2	33
Tabla 11. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios críticos con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000	35
Tabla 12. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios de la categoría ligeramente adecuados con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT	36
Tabla 13. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios moderadamente adecuados con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT.....	37
Tabla 14. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios muy adecuados con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT	38
Tabla 15. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios completamente adecuados con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT	39
Tabla 16. Resultados obtenidos del cromo en el cementerio de Tambillo en comparación con el valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2.....	40
Tabla 17. Comparación de los resultados obtenidos del plomo en el cementerio de Tambillo con el valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2.....	41
Tabla 18. Comparación de los resultados obtenidos del cromo en el cementerio de Nono con el valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2.....	41

Tabla 19. Comparación de los resultados obtenidos del plomo en el cementerio de Nono con el valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2.....	42
Tabla 20. Resultados de cromo obtenidas antes del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno	62
Tabla 21. Resultados de cromo obtenidas antes del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno	62
Tabla 22. Resultados de plomo obtenidas dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno.....	63
Tabla 23. Resultados de plomo obtenidas dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno.....	63

RESUMEN

En la actualidad, los estudios realizados sobre la evaluación de la contaminación en suelos de cementerios debido a la descomposición natural de cadáveres son relativamente escasos a nivel nacional y mundial. Este proyecto de Trabajo de Integración Curricular tiene el objetivo de evaluar la contaminación de muestras de suelo de 12 cementerios, ubicados en dos cantones de Pichincha: Quito y Mejía, que a su vez están clasificados en cinco categorías: críticos, ligeramente adecuados, moderadamente adecuados, muy adecuados y completamente adecuados, de los cuales se analizará los parámetros de materia orgánica, nitratos, textura, pH y metales (Cr y Pb). Para ello, se tomará muestras en dos épocas del año seca y lluviosa a tres profundidades diferentes 2 m, 2.5 m y 3 m antes del cementerio, dentro de este sitio y después del establecimiento. Una vez que se tomaron las muestras, se analizó en el laboratorio los parámetros antes mencionados y posteriormente se realizó un análisis comparativo con la normativa establecida en el Anexo 2 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. Se determinó que las concentraciones de materia orgánica y nitratos debido a los lixiviados generados de la descomposición de los cadáveres fueron valores representativos. En el caso de los metales la máxima concentración obtenida fue de plomo con un valor de 44,92 mg/kg el cual excede el valor establecido en la normativa ambiental ecuatoriana, de esta manera se afirma que existe contaminación en el suelo que posteriormente puede ser capaz de contaminar los cuerpos de agua subterránea.

PALABRAS CLAVE: lixiviado, descomposición, cementerio, metales, suelo.

ABSTRACT

Currently, studies carried out on the evaluation of contamination in cemetery soils due to the natural decomposition of corpses are relatively scarce at the national and global level. This Curricular Integration Work project has the objective of evaluating the contamination of soil samples from 12 cemeteries located in two cantons of Pichincha such as Quito and Mejía, which in turn are classified into five critical categories, slightly suitable, moderately suitable, very suitable and completely suitable of which the parameters of organic matter, nitrates, texture, pH and (Cr and Pb) metals will be analyzed. To do this, samples will be taken in two dry and rainy seasons at three depths: 2 m, 2.5 m and 3 m before the cemetery, within this site and after the establishment. Once the samples were taken, the aforementioned parameters were analyzed in the laboratory and subsequently a comparative analysis was carried out with the regulations established in Annex 2 of the Unified Text of Secondary Environmental Legislation. It was determined that the concentrations of organic matter and nitrates due to the leachates generated from the decomposition of the corpses were representative values. In the case of metals, the maximum concentration obtained was lead with a value of 44,92 mg/kg, which exceeds the value established in Ecuadorian environmental regulations. In this way, it is stated that there is contamination in the soil that may subsequently be capable of contaminating groundwater bodies.

KEYWORDS: leachate, decomposition, cemetery, metals, soil.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, tanto en el Ecuador como a nivel mundial son pocos los estudios realizados sobre la contaminación en los suelos de los cementerios a causa de la descomposición de los cadáveres humanos, los elementos químicos producto de los tratamientos médicos, los componentes utilizados en la fabricación de los ataúdes, entre otros. Una vez que una persona muere, su cuerpo puede convertirse en una fuente potencial de contaminación debido a los lixiviados migratorios generados por la descomposición, que podrían reaccionar con otras sustancias y posteriormente moverse e infiltrarse al suelo (Gómez et al., 2022).

Entre otros impactos, se propiciaría la formación de olores desagradables, la contaminación de agua subterránea por la presencia de agentes patógenos, la emisión de gases contaminantes a la atmósfera que podría afectar directamente a la población aledaña como generar un impacto irreversible de los ecosistemas cercanos (Oliveira et al., 2012).

En estudios realizados en Portugal, China, Sudáfrica y Nigeria se ha analizado la calidad del suelo en cementerios y se ha encontrado niveles de contaminación relacionados con las prácticas de entierro, lo que indica un aumento en la concentración de metales debido al uso de ataúdes con adornos metálicos o madera procesada (Gómez et al., 2022)

Según Kemerich et al. (2012) y Neckel et al. (2017), estos metales son liberados por los cadáveres, durante el proceso natural de descomposición, a través del líquido llamado necrochorum, durante el primer año después del entierro, contribuyendo así a la contaminación del suelo. Este líquido tiene un aspecto grisáceo viscoso, compuesto por un 60% de agua, un 30% de sales minerales y un 10% de sustancias orgánicas degradables, dos de las cuales son altamente tóxicas: la putrescina y la cadaverina (Da Cunha Kemerich et al., 2014).

Es por esto, la importancia de seleccionar una ubicación adecuada para construir un cementerio con el fin de ocasionar el menor impacto posible, considerando tanto las condiciones geográficas como ambientales como son: la temperatura, la densidad poblacional, la operación del cementerio, la cantidad de tumbas, entre otras (Crisanto-Perrazo et al., 2022).

Por este motivo, desde el año 2022, Crisanto y colaboradores, realizaron diferentes estudios donde propusieron índices empíricos que evalúan principalmente las características de una zona, para determinar si es adecuada o no para la implementación de centros de inhumación. Para esto, se identificó 71 cementerios en los cantones: Quito, Mejía y Rumiñahui, se partió de la matriz de Saaty tomando en cuenta diez variables (nivel freático, distancia fuentes de agua, precipitación, pendiente del terreno, tipo de suelo, edad del cementerio, temperatura,

número de tumbas, fallas geológicas y densidad poblacional) que han permitido clasificar a los cementerios por categorías: adecuados, muy adecuados, moderadamente adecuados, ligeramente adecuados y no adecuados (Gómez et al., 2022).

En este sentido, el componente de este proyecto tiene la finalidad de evaluar la contaminación del suelo causada por cementerios de los cantones Quito y Mejía; para ello se trabajará tanto en laboratorio como en campo con el fin de realizar los ensayos de las muestras de suelo tomadas en dos épocas del año seca y lluviosa de tal manera que se determine su pH, nitratos, materia orgánica, textura y metales (Cr y Pb).

1.1 Objetivo General

Evaluar la contaminación en el suelo ocasionada por los cementerios de los cantones Quito y Mejía de la provincia de Pichincha, Ecuador.

1.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar las muestras de suelo a tratar mediante la medición de contenido de materia orgánica, NO_3^- , textura, pH y metales en ensayos realizados en laboratorio.
2. Determinar la presencia de contaminación ocasionada por los cementerios en base a la caracterización de las muestras de suelo analizadas.
3. Comparar el nivel de contaminación entre las temporadas seca y lluviosa en función de los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del suelo de los cementerios de los cantones Quito y Mejía.

1.3 Alcance

El presente proyecto tuvo la finalidad de evaluar la contaminación en el suelo ocasionada por los cementerios de los cantones Quito y Mejía mediante el análisis de muestras tomadas y tratadas en el laboratorio.

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica y recopilación de información sobre los impactos ambientales generados por los cementerios, los principales factores que producto de la descomposición de los cadáveres contaminan el suelo y los parámetros de contaminación causada por estos mismos como el contenido de materia orgánica, NO_3^- , textura, pH y metales.

Después de realizarse esta revisión y recopilación, se inspeccionó los cementerios seleccionados con la finalidad de evaluar la accesibilidad para la toma de muestras. Una vez comprobado la factibilidad para los muestreos, se procedió a la recopilación de muestras en la temporada de verano e invierno; para ello se tomaron tres muestras en cada uno de los

cementerios utilizando equipo de penetración en suelos, se consideró un muestreo antes de la instalación, dentro de la misma y después de ella considerando tres profundidades 2, 2.5 y 3 metros. Posteriormente, se caracterizó cada una de las muestras en un laboratorio mediante la medición de contenido de materia orgánica, NO_3^- , textura, pH y metales.

Finalmente, se determinó si existe o no la presencia de contaminación causada por los cementerios y en base a esto, se realizó una comparación del nivel de contaminación en el suelo entre los cantones Quito y Mejía.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Cementerios – Descomposición de cadáveres

1.4.1.1 Cementerios

Un cementerio es un lugar donde se depositan los restos mortales o cadáveres de los difuntos (inhumación), dependiendo de la cultura del lugar estos cuerpos pueden colocarse en ataúdes, féretros o sarcófagos, o simplemente envolverse en telas, para ser enterrados bajo tierra o depositados en tumbas u otro tipo de sepulturas (Puentes & Rey, 2021).

Durante muchos años, los cementerios fueron considerados sólo como lugares de enterramiento de cuerpos, que no representaban ningún peligro hacia la salud pública y el ambiente. Fueron construcciones implantadas al azar, en terrenos de menor valor económico, no se realizaron análisis considerando aspectos geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos del área escogida ya que sus riesgos de contaminación eran desconocidos, además de la falta de control y planificación para su funcionamiento (Oliveira, 2015).

En muchas partes del mundo, los cementerios no representan una fuente de conflicto. Por ejemplo, en Zúrich, los cementerios son utilizados como parques para la relajación y la reflexión, y son apreciados por su atmósfera pacífica y su valor cultural. Sin embargo, en otros lugares como en Rumania debido a su rápida expansión urbana, los espacios verdes insuficientes dentro de los cementerios, su poca planificación y administración han llevado al desarrollo de áreas inseguras e insalubres dentro y alrededor de los cementerios generando problemas tanto ambientales como sociales (Tudor et al., 2013).

De acuerdo con Oliveira et al. (2012) los cementerios son un foco potencial de contaminación, en especial si se encuentran mal ubicados o administrados. Los lixiviados que se producen en los cementerios contienen carga patógena y pueden contaminar los suelos, lo que representa un peligro para la salud pública.

Sin embargo, en los cementerios el control ambiental sigue siendo un tema que no ha tenido una gran divulgación científica, incluso por los propios administradores de estos lugares

quienes desconocen de las etapas de descomposición del cuerpo humano, sin considerar muchas veces el riesgo que puede generar esta descomposición en el ambiente (Oliveira, 2015).

1.4.1.2 Descomposición de cadáveres

Una vez que una persona fallece, el cuerpo presenta una serie de características propias del proceso de descomposición, como son la rigidez cadavérica, hinchazón, putrefacción, licuefacción y esqueletización, donde los restos y el cadáver se convierte en fuente de materia orgánica (Crisanto-Perrazo et al., 2022).

Los factores que influyen en la descomposición pueden ser intrínsecos o extrínsecos al cuerpo. Entre los primeros se encuentran la edad, el sexo, la raza, la constitución corporal, las enfermedades y tratamientos, la causa de la muerte, el embalsamamiento y si se le realizó la autopsia o no. En el caso de los recién nacidos y cuerpos obesos, infectados o en estado de gangrena tienen una acelerada descomposición. Por otro lado, entre los factores extrínsecos están la temperatura, la humedad, la aireación, la presencia de microorganismos, las características y composición del suelo, los materiales utilizados en las prácticas funerarias, el método de entierro, la cobertura de las tumbas y la frecuencia y densidad de las inhumaciones (Oliveira et al., 2013).

Etapas del proceso de descomposición

La primera fase es conocida como “fresca”, inicia una vez que el individuo haya muerto y se extiende hasta el cuarto día de depositación (Olivares Castro, 2016). En esta etapa el organismo pasa por los fenómenos cadavéricos tempranos como (Julca, 2016):

- *El enfriamiento cadavérico (Algor Mortis).* – es el descenso paulatino de la temperatura corporal hasta igualarse con la temperatura ambiente en un lapso de 24 horas.
- *La lividez cadavérica (Livor mortis).* - son manchas cutáneas de color violeta que aparecen en las muñecas, manos, tobillos, párpados y abdomen del cuerpo como producto de la acumulación de la sangre.
- *La rigidez cadavérica (Rigor mortis).* - aparece de 3-5 horas después de la muerte.
- *La deshidratación cadavérica.* – es cuando el agua corporal se evapora, alrededor de 10 a 15 gramos por kilogramo de peso corporal al día.

La segunda etapa se conoce como “hinchada”, “gaseosa” o “cromática”; se caracteriza por el hinchamiento del cuerpo debido a la liberación de gases, en las cavidades producto de la acción bacteriana anaeróbica, y los cambios de color en los tejidos blandos. Durante esta etapa, es evidente la presencia de insectos (principalmente larvas), que producen y liberan líquidos, y se inicia la autodegradación de los tejidos (Olivares, 2016).

La tercera fase es la de “deshinchamiento” o “putrefacción”, aquí se desintegran los tejidos permitiendo que los gases generados por las bacterias escapen de las cavidades. Los insectos son activos participantes y son los encargados de remover gran parte del tejido. El inicio y final de esta fase están condicionados por la temperatura, la humedad y otros factores ambientales (Olivares, 2016).

La cuarta fase es la “licuefacción” también llamada “putrefacción negra” o “desintegración”, en esta etapa todo el tejido blando que aún se conservaba se va transformando en líquido por la autodegradación de los tejidos, debido a esto los huesos van desarticulándose y quedando limpio del tejido blando (Olivares, 2016).

La última fase y la más larga es la “esqueletización”, en la cual se degradan los sobrantes del tejido blando hasta quedar solamente el tejido óseo. Todo este proceso puede alcanzar entre dos y cinco años dependiendo de las características del entorno como las condiciones climáticas que aceleran o retrasan la descomposición (Gómez et al., 2022) .

Sin embargo, para que un cadáver humano alcance la descomposición completa necesita entre 15 y 25 años. Esta tasa de descomposición depende de cierta forma de la profundidad del entierro y de la temperatura ambiente. Cuando la temperatura ambiente está entre los 16 y 20°C se da un aceleramiento en la descomposición de los cuerpos mientras que a bajas temperaturas entre -5 a 6°C se tarda más este proceso (Gómez et al., 2022).

La descomposición de los cuerpos humanos genera lixiviados (líquidos) normalmente compuestos de agua, proteínas, grasas, sales minerales y carbohidratos, además de posibles patógenos microbianos, es decir virus y bacterias y en algunos otros casos existe la presencia de productos químicos como metales pesados (Miller & Wiens, 2017).

1.4.2 Suelo y contaminación

El suelo está compuesto por minerales de distintos tamaños y composiciones químicas, compuestos orgánicos en diferentes etapas de composición, organismos vivos, aire y agua en combinaciones generadas por procesos físicos, biológicos y químicos (Oliveira et al., 2013).

Para medir su calidad es importante evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Entre las propiedades físicas que se debe analizar incluyen densidad aparente, contenido de agua, velocidad de drenaje, desleimiento y estimaciones morfológicas; y entre las propiedades químicas se considera el pH, conductividad eléctrica (CE) y niveles de nitratos (Puentes & Rey, 2021).

El tipo de suelo es importante tanto en la descomposición de un cadáver como en la filtración de lixiviados. Las partículas finas y densas, como la arcilla, pueden impedir la descomposición

y la filtración mientras que las partículas gruesas, como la arena permiten una rápida descomposición y filtración de los lixiviados, impidiendo su purificación y permitiendo la contaminación a cuerpos de agua subterráneos (Tudor et al., 2013).

Los suelos arenosos son altamente permeables por lo que la posibilidad de contaminación del suelo y del manto freático debido a la presencia de virus y bacterias contenidos en los lixiviados es mayor, porque presenta mayor porosidad y tiene poca retención de humedad permitiendo que el contaminante tenga mayor velocidad de filtración. Además, tanto el tipo como el pH del suelo interfieren en la supervivencia y retención de bacterias y virus existentes en la descomposición (Silva et al., 2020).

1.4.2.1 Contaminación del suelo

La preocupación y el interés por estudiar sobre la contaminación del suelo y el nivel freático se evidenció cuando la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1998, publicó un informe donde se exponía el impacto que los cementerios podrían generar en el ambiente debido al aumento de concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas y la presencia ocasional de microorganismos patógenos en el suelo y las aguas subterráneas (Araujo et al., 2020).

La contaminación del suelo es la introducción en el mismo de sustancias químicas u otro material que se encuentra fuera de lugar, que está presente en concentraciones mayores a las naturales y que implica pérdida de capacidad para su uso, como también riesgos para la salud de la población (Puentes & Rey, 2021).

Un suelo se puede degradarse cuando acumula contaminantes a unos niveles que interfieren negativamente en su comportamiento, ocasionando la pérdida parcial o total de su productividad. Además, las sustancias a esos niveles de concentración pueden volverse tóxicas para los organismos presentes en el suelo (Puentes & Rey, 2021).

Como producto de la descomposición de un cadáver el lixiviado que se produce se caracteriza por ser viscoso, más denso que el agua ($1,23 \text{ g/cm}^3$), constituido por 60% de agua, 30% sales y 10% sustancias orgánicas degradables, de coloración pardo-grisácea que se genera principalmente en el primer año después del entierro, a partir de la degradación de la materia orgánica que componen el cuerpo, destacando entre sus componentes la putrescina y la cadaverina, dos días más tóxicas (Silva et al., 2020).

Un cuerpo humano adulto de 70 kg de peso genera hasta 40 L de lixiviado, es decir, se genera de 0,4 a 0,6 L de lixiviado por kg de peso corporal, que representa el 62% de la masa de material descompuesto (Gómez et al., 2022).

El problema de generar estos lixiviados, es que debido a su composición favorecen la supervivencia de microorganismos patógenos presentes en los cadáveres en

descomposición, que dependiendo de las condiciones climáticas pueden ser capaces de filtrarse, llegando al manto freático, contaminando el suelo y posteriormente a las aguas subterráneas lo que ocasionaría un riesgo potencial para la salud humana (Jonker & Olivier, 2012).

La contaminación del suelo por el lixiviado llega a la zona no saturada, pero depende de la estructura hidrogeológica del suelo. Este lixiviado que es liberado constantemente por la descomposición de los cadáveres, presenta un alto grado variable de patogenicidad. La mayor parte de estos patógenos no soportan la presencia de oxígeno en la zona no saturada del suelo, sin embargo, “a mayor profundidad de las aguas subterráneas, menor contenido de oxígeno disuelto, favoreciendo la existencia y desarrollo de microorganismos”. Por lo que, si el agua se recolecta a través de pozos poco profundos, las personas que usan esta agua corren el riesgo de contraer enfermedades (Alcântara et al., 2010).

Según Kemerich et al. (2012) puede presentarse una contaminación del suelo debido a los metales liberados por los cadáveres durante el proceso natural de descomposición, a través de líquidos conocidos como lixiviados. Estos productos químicos pueden ser provenientes de las prácticas de embalsamamiento y entierro, así como barnices, selladores, conservantes, manijas, materiales del ataúd y la ropa colocados en los cuerpos. Los sujetadores y adornos del ataúd también contienen minerales como zinc y aleaciones de zinc o cobre, plata o bronce (Jonker & Olivier, 2012).

La presencia de elementos como el: Cu, Pb, Cr, Fe, Zn y Mn en áreas cercanas a los cementerios presentan riesgos toxicológicos para el ambiente, así como para la salud humana. Como es el caso del plomo, que se ha demostrado que al ser absorbido por el cuerpo humano es capaz de convertirse en una neurotoxina ocasionando consecuencias negativas tanto en el sistema nervioso central como en el periférico (Neckel et al., 2021).

Otro de estos elementos, que utilizan en los procesos previos en los cadáveres humanos es el formaldehído, que según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer “ARC”, es cancerígeno para los humanos y las personas que están expuestas en el aire sujetas a altas concentraciones, por lo que ocasiona problemas en la salud (Da Cruz et al., 2017).

Sin embargo, la contaminación del suelo como de los acuíferos no son el único posible impacto a causa de los cementerios, también están los impactos físicos secundarios como son la presencia de malos olores en las zonas internas producto de los gases de la descomposición de los cadáveres. Estos gases pueden filtrarse directamente a la atmósfera por la mala gestión y mantenimiento de las fosas (Da Cruz et al., 2017).

1.4.3 Factores que influyen en la contaminación del suelo

La contaminación del suelo por lixiviados depende de varios factores como el tipo de suelo, sus propiedades físicas y químicas, la ubicación y estructura hidrogeológica del cementerio, las condiciones en que se entierran los cuerpos y también la precipitación del lugar donde está ubicado el cementerio (Silva et al., 2020).

La contaminación está influenciada directamente por variables como el nivel freático y la distancia a las fuentes de agua, la textura del suelo, ya que interfiere directamente en la transferencia de contaminantes, mientras que la pendiente del terreno también incide porque cuando existe altos niveles de escorrentía en terrenos con pendientes influyen en la pérdida de nutrientes, afectando la erosión del suelo y por tanto trasladan los lixiviados liberados a las secciones de la subcuenca más cercana (Crisanto-Perrazo et al., 2022).

Otra de las variables que interfieren, es la densidad poblacional debido a que los cementerios deben ubicarse en zonas con bajo nivel antrópico. La contaminación que se genera en un cementerio es proporcional al número de tumbas y la antigüedad del cementerio, por lo tanto, el número de fosas y el año de operación tienen una relación directa en la cantidad de generación de lixiviados liberados al ambiente, mientras que la falla geológica tiene incidencia, por la afectación de estructuras de tajos y la generación de posibles infiltraciones a nivel freático en eventos no deseados (Crisanto-Perrazo et al., 2022).

1.4.4 Situación mundial

A nivel mundial, la población aumenta constantemente. El crecimiento de la población mundial es el resultado de la tasa de natalidad y la tasa de mortalidad. En 2022, se alcanzó una población total de 7,951 millones de habitantes en el planeta, con una tasa de crecimiento del 0,8% (World Bank Open Data, 2023). Debido al aumento de la población, la degradación ambiental que se genera también crece tanto en las áreas urbanas como rurales ocasionando un problema crítico, que va de la mano con la disposición de los cuerpos humanos en los cementerios ya que es la principal forma funeraria que se utiliza actualmente. Sin embargo, el tratamiento previo que tienen los cadáveres humanos varía según las creencias y las culturas de la población ocasionando diversas consecuencias ambientales (Gómez et al., 2022).

En países europeos como Portugal, el impacto negativo que ocasionan los cementerios tanto en el suelo como en las aguas subterráneas no se ha prestado la suficiente atención, debido a que la información es escasa por lo que no se considera que los cementerios contaminen el ambiente. Incluso existen cementerios que están ubicados cerca de las poblaciones y aledaños a fuentes de agua (Rodríguez & Pacheco, 2010). Sin embargo, en ciertos estudios donde se han realizado análisis fisicoquímicos de suelos en áreas aledañas a cementerios antiguos, han alcanzado altos niveles de contaminación bacteriológica, demostrándose la

influencia de los cementerios en la contaminación de las aguas subterráneas. Además, también se encontró un incremento de casos de fiebre de tifoidea en la población cercana al cementerio analizado (Gómez et al., 2022).

En China, Sudáfrica y Nigeria, se han realizado análisis de la calidad del suelo en cementerios representativos, encontrándose contaminación debido a las prácticas de entierro ya que se evidenció un aumento en la concentración de metales traza por el uso de ataúdes con adornos de metal pintado o madera procesada (Gómez et al., 2022).

En Sudáfrica, se hizo una comparación de las concentraciones de minerales de los suelos dentro del cementerio de Zandfontein en Tshwane (Gauteng, Sudáfrica) con suelos de afuera del sitio, así como con las zonas de altas cargas de entierros con aquellas zonas que tenían menos entierros. Para ello se recolectó alrededor de veintitrés muestras del suelo de diferentes sitios dentro y fuera del sitio obteniéndose que las concentraciones minerales de los suelos dentro del cementerio eran relativamente más altas que las de afuera del sitio. Además, que se evidenció concentraciones elevadas de metales que probablemente podrían ser de origen antropogénico relacionado con las prácticas funerarias por lo que presenta un peligro para el ambiente y la salud humana (Jonker & Olivier, 2012).

En un estudio que se hizo en Canadá y Australia, se analizó muestras de suelo cerca de los cementerios donde se pudo determinar nitritos, nitratos y fosfatos, además que en la ciudad Adelaida en Australia se dio el aumento de la DBO_5 y se evidenció amonio. En otras zonas como el sureste de Polonia, se determinó la presencia de nitratos en épocas de lluvias, así como de sulfatos, fluoruros y cloruros (Crisanto-Perrazo et al., 2022).

En estudios realizados en Latinoamérica, Brasil es uno de los países que más estudios sobre la contaminación por cementerios ha realizado y cuenta con una legislación específica con base en el área ambiental para inspeccionar y sancionar a los cementerios públicos y privados que no cumplan con las leyes (Alcántara et al., 2010).

Uno de los estudios más recientes, en el 2021, en la ciudad de Carazinho, al sur de Brasil se analizó los niveles de metales en el suelo de tres cementerios urbanos considerando el aumento de las muertes por COVID-19. Para ello se tomó 5 puntos internos y externos espaciados cada 100 m, a profundidades de 0-20 y 20-40 cm con tres niveles de repetición, tomando un total de 180 muestras, en las cuales se midió concentraciones de metales de Fe, Mn, Cu, Zn, Cr y Pb mediante espectrofotometría de absorción atómica obteniéndose como resultado altos niveles de cobre (Cu) y hierro (Fe) en estos cementerios mientras que el Zn, Pb y Cr no excedieron sus respectivos límites impuestos por la legislación en ninguno de los cementerios analizados (Neckel et al., 2021).

1.4.5 Situación del Ecuador

La gestión y planificación de los cementerios es un punto importante que permite controlar tanto los impactos ambientales como sociales y ecológicos. La implementación de cementerios en zonas residenciales por lo general es algo que produce rechazo por parte de la población residente. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional en el país, cuya población actual es de 18 627 647 habitantes y con una tasa de crecimiento poblacional de 1,14% en el 2022, las áreas cercanas a los cementerios han sido habitadas ocasionando que sean ahora zonas residenciales (World Bank Open Data, 2023).

Una ubicación inadecuada de los cementerios atrae problemas y disconformidades como el riesgo de enfermedades, el impacto estético, entre otros. Usualmente, las políticas y planificación del uso del suelo se basan en proyecciones demográficas para alrededor de quince a veinte años, es decir están en constante evolución de acuerdo con los requerimientos de la población. Por lo general, los cementerios son un requerimiento dentro de una comunidad por lo tanto son diseñados y construidos en base a los criterios y conocimiento de la época determinada (Gómez et al., 2022).

En un estudio realizado por Arcos y sus colaboradores (2020), se hizo un análisis espacial de 72 cementerios ubicados en el centro del país, de los cuales 32 fueron identificados como mal ubicados (Gómez et al., 2022).

En otro análisis posterior, donde se consideraron criterios hidrográficos, textura del suelo, densidad poblacional, pendiente, áreas verdes, distancia al centro histórico, precipitación y temperatura se obtuvo que existe la posibilidad de contaminación ambiental por la ubicación errónea de nueve cementerios. Con esto, se realizó un estudio de campo en estos nueve cementerios incluyendo parámetros como el nivel freático, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica, pH y temperatura, además las variables como la distancia al cuerpo de agua, tipo de suelo, número de tumbas, antigüedad del cementerio y falla geológica. Se concluyó que en estos nueve cementerios hay la probabilidad de contaminación ambiental, cabe mencionar que su ubicación no era completamente adecuada (Gómez et al., 2022).

Por otro lado, Crisanto y sus colaboradores (2022) realizaron una investigación con el fin de implementar una nueva herramienta que permita determinar la potencial contaminación ambiental generada por los cementerios actuales. Para ello se obtuvo unas ecuaciones lineales mediante la jerarquización en una matriz de Saaty, donde se relacionaron y ordenaron alrededor de 10 variables (nivel freático, distancia a las fuentes de agua, precipitación, terreno en pendiente, tipo de suelo, edad del cementerio, temperatura, número de tumbas, falla geológica, densidad poblacional), estableciendo categorías (adecuados, muy adecuados,

moderadamente adecuados, ligeramente adecuados y no adecuados) (Figura 1) para los cementerios con el fin de obtener índices empíricos que evalúan la idoneidad de un sitio independientemente del área geográfica en la que se encuentre (Crisanto-Perrazo et al., 2022).

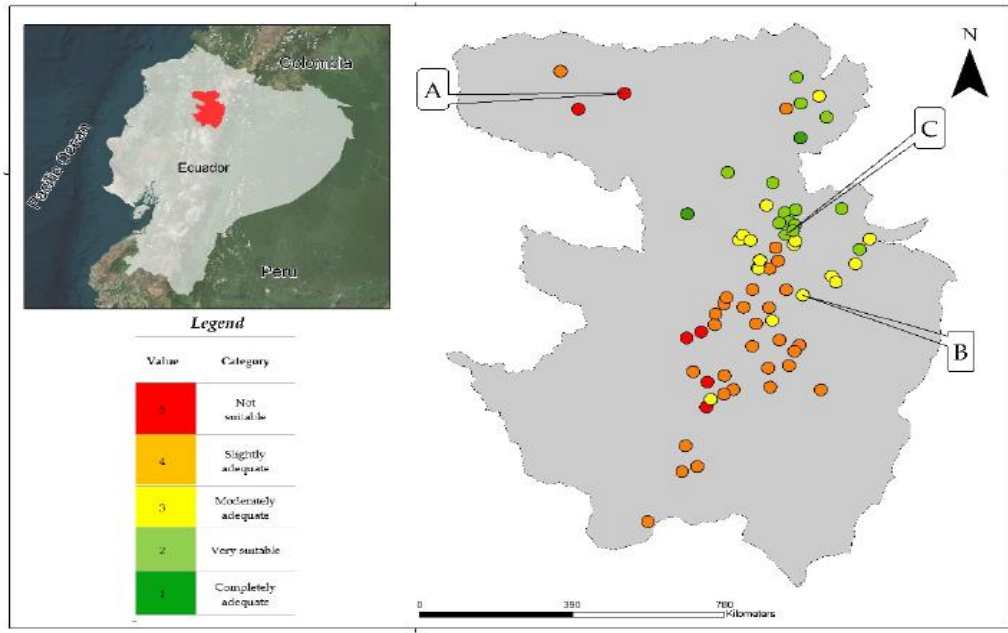


Figura 1. Categorización de cementerios en el centro de Ecuador. A= Nanegal; B= Tumbaco; C= Caldera norte.

Fuente: Crisanto et al. (2022).

En la actualidad, en Ecuador no se han presentado análisis de parámetros ambientales que permitan conocer con certeza si los cementerios son o no una fuente de contaminación ambiental (Ministerio de la Salud Pública del Ecuador, 2013). Por lo que es necesario, elaborar planes de manejo ambiental y territorial de los cementerios considerando parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de suelos y aguas con el fin de establecer una correcta ubicación de los cementerios empezando desde la planificación hasta su cierre y así lograr mitigar los posibles impactos ambientales y a la salud (Gómez et al., 2022).

1.4.6 Normativa Ambiental

En base a la normativa ecuatoriana vigente, no existen parámetros técnicos que controlen y mitiguen los impactos ambientales producidos por la descomposición de cadáveres humanos, así como tampoco en los planes del uso de suelo no se presenta una regulación de los cementerios en base a su ubicación o el impacto que generen (Ministerio de la Salud Pública del Ecuador, 2013).

Se propuso en el 2018 un reglamento para establecimientos funerarios y el manejo de cadáveres en el país, el cual está enfocado al manejo previo a la exhumación o inhumación

dejando a un lado lo que suceda después de que sean enterrados (Ministerio de la Salud Pública del Ecuador, 2018).

El Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): Norma de Calidad Ambiental de Recurso Suelo y Criterios de Remediación para los suelos contaminados tiene como objetivo primordial cuidar por el bienestar de la salud de las personas, así como de velar por la calidad ambiental del recurso suelo de tal manera que se proteja los ecosistemas ante cualquier actividad antrópica capaz de modificar su calidad. En esta norma se encuentra la Tabla 2 ubicada en Anexos 2 del TULSMA, que contiene los criterios de calidad ambiental del suelo por lo que en el caso de sobrepasar estos valores significará que la calidad del suelo ha sido afectada (Ministerio del Ambiente, 2015).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México trata de fomentar la conservación, protección y aprovechamiento del recurso suelo por lo que para su regulación utiliza la Norma Oficial Mexicana NOM-021 RECNAT-2000, donde se encuentran establecidas las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. En esta normativa en el numeral 7.1.7 se plantea tanto el procedimiento para la obtención de materia orgánica como los valores para la interpretación de sus resultados (Secretaría de Medio Ambiente, 2000).

2. METODOLOGÍA

2.1 Caracterización de la zona

2.1.2 Área de estudio

El área de estudio se enfocó en los cementerios ubicados en el centro norte del Ecuador, de la provincia de Pichincha, zona geográfica conocida como región interandina o sierra. Dentro de esta provincia uno de los principales cantones que se consideró fue Quito, debido a que es una zona que contiene a la segunda ciudad con la densidad poblacional más alta del país que de acuerdo con el último censo realizado por el INEC en el 2022 tiene 2 676 722 habitantes (INEC, 2022).

Además, se encuentran los cementerios como Nanegal (1) , Chillogallo (2), Pinta (3) y Cutuglagua (4) con unas extensiones de aproximadamente 960 y 9 600 m y su distancia más cerca a los ríos que oscila entre 2 y 143 m, los cuales en un estudio preliminar se consideraron como críticos en términos ambientales (Figura 2) (Gómez et al., 2022).

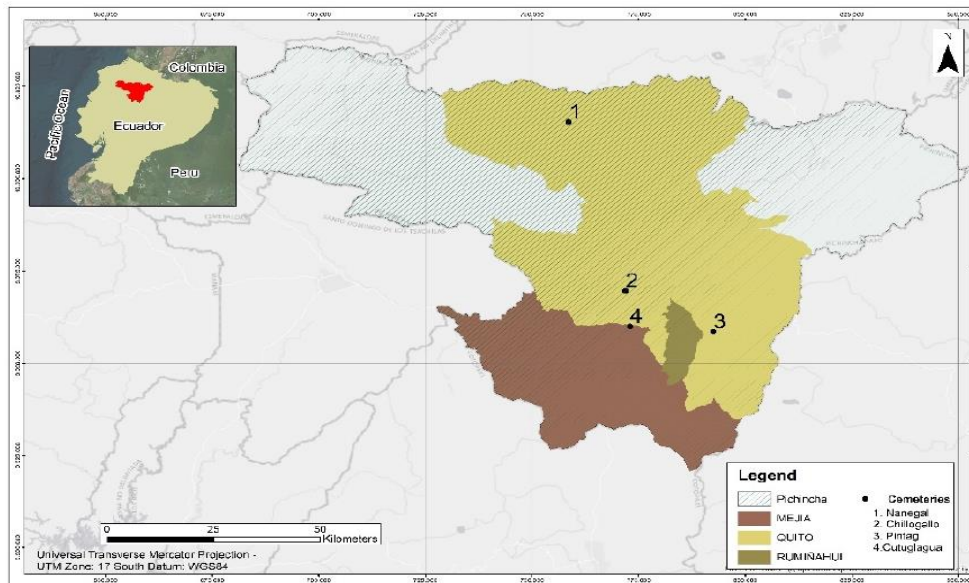


Figura 2. Mapa de ubicación con los cementerios críticos en la provincia de Pichincha.

Fuente: Gómez et al. (2022).

Dentro de esta provincia se seleccionó 13 cementerios, para ello se realizó un estudio previo que empezó con un tamaño muestral total de 71 cementerios, a los que se les aplicó una clasificación en categorías con la finalidad de determinar la probabilidad de contaminación en el ambiente que es capaz de generarse por la descomposición de los cadáveres en el cementerio.

Para esta clasificación, se aplicó el método Saaty donde se relacionaron alrededor de diez variables tanto cuantitativas como cualitativas como son el nivel freático, la distancia a las fuentes de agua, precipitación, terreno en pendiente, tipo de suelo, edad del cementerio, temperatura, número de tumbas, falla geológica y densidad poblacional. Con los coeficientes obtenidos a través de la matriz de Saaty, se establecieron los rangos de afectación mediante una escala de colores y valores que van del 1 al 5 dependiendo de la probabilidad de contaminación, siendo completamente adecuados=1 (verde oscuro), muy adecuado=2 (verde claro), moderadamente adecuado=3 (amarillo), ligeramente adecuado=4 (naranja) y no adecuado=5 (rojo).

En base a la información recopilada en laboratorio y campo, se sumaron todas las variables obtenidas a través de la matriz y del álgebra de mapas; conjuntamente, con la aplicación del Sistema de Información Geográfica de libre acceso, se logró distinguir por capas la diferencia entre variables de tal manera que se determinó los cementerios que representan mayor grado de contaminación y de importancia para esta investigación de tal manera que se discriminó aquellos se encuentran relativamente bien ubicados y además, aquellos cementerios que eran de difícil acceso para realizar la toma de muestras. En la Tabla 1 y en la Figura 3, se presenta los cementerios seleccionados.

Tabla 1. Cementerios seleccionados dentro de la provincia de Pichincha

#	Cantón	Nombre	Coordenadas	Categoría
1	Mejía	Cementerio General de Aloasí	768522.00 m E 9942810.00 m S	Ligeramente Adecuado
2	Mejía	Camposanto de Tambillo	772743.00 m E 9955164.00 m S	No Adecuado
3	Quito	Cementerio la Libertad	769460.52 m E 9968432.44 m S	No Adecuado
4	Quito	Cementerio Nanegal	758573.00 m E 15417.00 m N	No Adecuado
5	Quito	Cementerio de Lumbisí	783573.04 m E 9974328.72 m S	Ligeramente Adecuado
6	Quito	Cementerio Tababela	795099.36 m E 9979286.12 m S	Moderadamente Adecuado
7	Quito	Cementerio El Descanso Eterno	787684.79 m E 9989131.41 m S	Muy Adecuado
8	Quito	Cementerio Parroquia de Nono	769554.11 m E 9992377.27 m S	Completamente Adecuado
9	Quito	Cementerio Chavezpamba	788906.32 m E 13872.75 m N	Muy Adecuado
10	Quito	Cementerio General Puéllaro	788925.56 m E 6913.41 m N	Completamente Adecuado
11	Mejía	Cementerio Uyumbicho	775867.15 m E 9957718.49 m S	Ligeramente Adecuado
12	Quito	Cementerio Guangopolo	783856.19 m E 9971739.54 m S	Moderadamente Adecuado

Fuente: Crisanto et al. (2022) y Quishpe, B (2024).

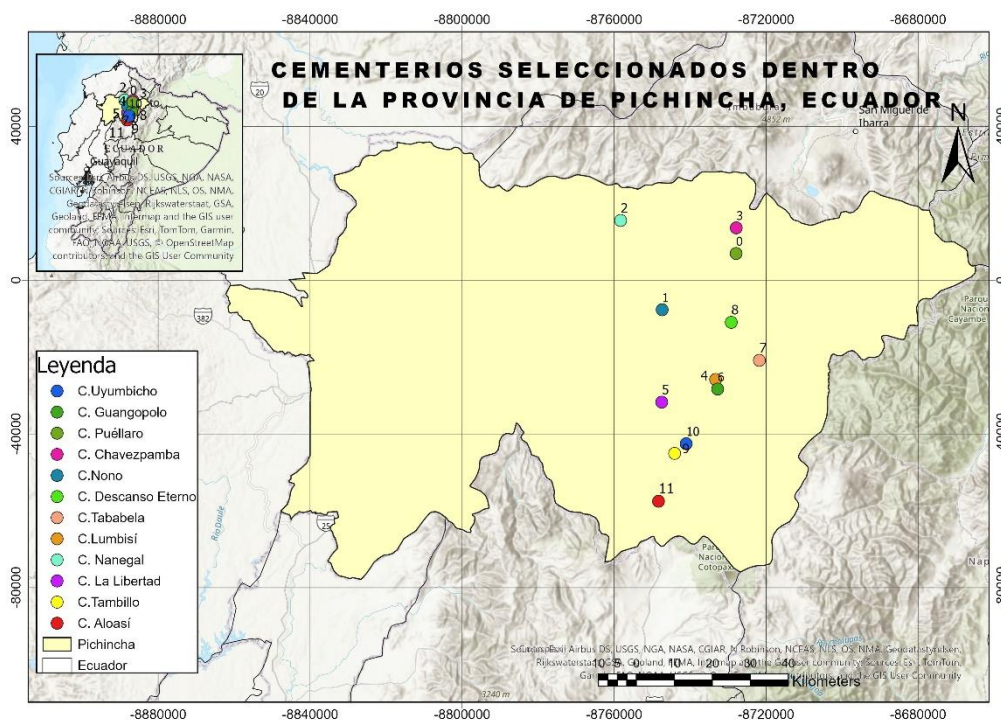


Figura 3. Mapa de ubicación con los cementerios seleccionados en la provincia de Pichincha.

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

2.2 Recolección de muestras

2.2.1 Selección de puntos

Para realizar los muestreos se seleccionó previamente dos temporadas durante el año, por lo que en base a la Figura 4 obtenida del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI donde se encuentra la climatología durante el año 2023 en la región andina, se consideró dos meses, en este caso agosto para el muestreo en la época seca ya que es el mes que tiene menor presencia de precipitaciones con una normal climatológica de 33,5 mm/mes y se escogió noviembre para el muestreo en la época de invierno porque es uno de los meses que tiene mayor presencia de precipitaciones con una normal climatológica de 84,3 mm/mes.

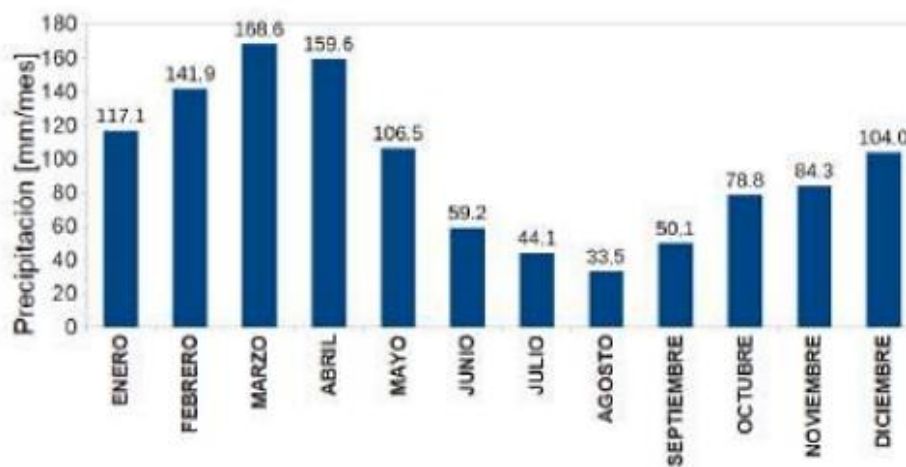


Figura 4. Climatología en la región andina.
Fuente: INAMHI (2023).

Tanto para la temporada de verano e invierno en cada cementerio se seleccionó tres puntos (antes del cementerio, en este lugar y después del mismo) considerando su pendiente; para lo cual mediante las herramientas de ArcGis y Google Earth se determinó las pendientes de cada cementerio como se observa en la Tabla 2 y posteriormente se comparó con las pendientes obtenidas en campo, este parámetro es uno de los principales a considerar debido a que la zona de estudio se caracteriza por contar con pendientes altas y relieves inclinados debido a que los lixiviados cuando están en pendientes pronunciadas tienden a trasladarse a los tramos de la subcuenca más cercana.

Tabla 2. Pendientes de los cementerios y clasificación por la Organización de las Naciones Unidas y la Agricultura (FAO).

#	Nombre	Pendiente (%)	Tipo
1	Cementerio General de Aloasí	5,25	Inclinado
2	Camposanto de Tambillo	16,32	Moderadamente escarpado
3	Cementerio la Libertad	10,25	Fuertemente inclinado
4	Cementerio Nanegal	15,75	Moderadamente escarpado
5	Cementerio de Lumbisí	11,85	Fuertemente inclinado
6	Cementerio Tababela	31,82	Escarpado
7	Cementerio El Descanso Eterno	20	Moderadamente escarpado
8	Cementerio Parroquia de Nono	10,97	Fuertemente inclinado
9	Cementerio de San Carlos - Yaruquí	8,06	Inclinado
10	Cementerio Chavezpamba	5,85	Inclinado
11	Cementerio General Puéllaro	28,49	Moderadamente escarpado
12	Cementerio Uyumbicho	8,24	Inclinado
13	Cementerio Guangopolo	14,11	Fuertemente inclinado

Fuente: Arcos (2020).

Lo muestreos fueron en dos temporadas, la primera o temporada verano inició el 5 de agosto del 2023, el muestreo se realizó durante tres fines de semana consecutivos hasta el 19 del mismo mes mientras que para la segunda o temporada de invierno debido a las constantes variaciones climáticas en el país se consideró el mes con mayor cantidad y frecuencia de las precipitaciones, esta fase duró un fin de semana y medio que comenzó el 18 de noviembre del 2023 hasta el 25 del mismo mes. Además, mediante revisión bibliográfica se determinó la cantidad de tumbas existentes, los años de antigüedad de las tumbas tomando en cuenta que sean alrededor de los tres a cinco años más recientes. Una vez obtenida esta base de datos, en campo se corroboró la ubicación de los puntos seleccionados y se registró las coordenadas usando un GPS (Figura 5).



Figura 5. Selección del punto de muestreo dentro del cementerio.

Tomada por: Quishpe, B (2023).

2.2.2 Técnica de muestreo

Para esta fase, se inició realizando un plan de muestreo. Una vez recopilada la información como es la ubicación de los tres puntos (antes, en y después del cementerio) se consideró, realizar por cada punto de muestreo la toma de una muestra representativa simple a tres profundidades de 2 m; 2,5 m y 3 m; siendo un total de 9 muestras por cementerio. En este plan también se consideró la utilización de materiales para la toma de muestras como fundas con cierre Ziploc, las etiquetas y la cadena de custodia. La toma de muestra se realizó mediante el sondeo de penetración estándar (STP) bajo la norma ASTM D1586; para lo cual se utilizó un equipo que está compuesto por un trípode de acero, un martinete, una barra guía, una cabeza de golpeo, una barra de perforación a diferentes mediciones correspondientes a las tres profundidades de los puntos, poleas, soga y malacate como se observa en la (Figura 6) y (Figura 7).



Figura 7. Trípode del equipo de penetración.
Tomada por: Quishpe, B (2023).

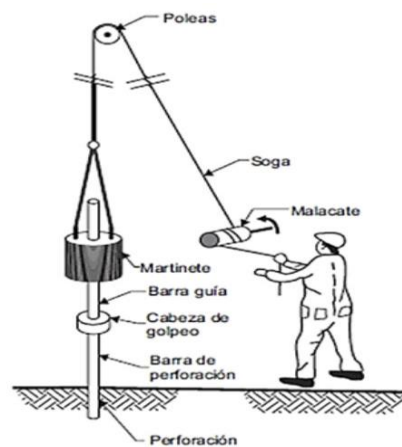


Figura 6. Esquematación d Penetración de suelos.
Fuente: (Vías, N. s. f).

Para el funcionamiento de este equipo primero se armó el trípode de tal manera que se formó un castillo alrededor del punto seleccionado y se aseguró que el punto a perforar coincida con la barra de perforación; después se conectó la polea que sujetó el martinete con las demás barras. Posteriormente, la soga se conectó a un motor y se fue golpeando sobre el martinete aproximadamente 50 golpes por punto de muestreo de modo que ingresó la barra de perforación en el suelo para la toma de las muestras a las tres profundidades. Una vez que se sacó la barra de perforación con la muestra de suelo, se recolectó en una funda Ziploc previamente etiquetada con el nombre del cementerio, codificación, temperatura, coordenadas, metros de profundidad, hora y fecha (Figura 8) y (Figura 9).



Figura 8. Muestra de suelo en la barra de perforación.
Tomada por: Quishpe, B (2023).



Figura 9. Recolección de la muestra de suelo en campo.
Tomada por: Quishpe, B (2023).

2.3 Análisis de parámetros en laboratorio

Una vez recopiladas las muestras en campo, se llevó a laboratorio 117 muestras para los análisis correspondientes. Cabe mencionar que el análisis de la materia orgánica correspondiente a las muestras de los cementerios críticos Tambillo, La Libertad y Nanegal se realizó en el laboratorio del Centro de Investigación y Control Ambiental “CICAM” así como los nitratos con la diferencia de que las muestras de todos los cementerios se analizaron en este laboratorio. El resto de los parámetros se analizó en el Laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas y en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional “EPN”. Para los metales se realizó los análisis en el Departamento de Metalurgia Extractiva de la EPN.

2.3.1 Determinación de la materia orgánica

Para determinar este parámetro aplicó el método por vía seca en base al método 2540 E. Gravimétrico, para ello se pesó alrededor de 10-20 gramos de cada una de las muestras y se colocó en crisoles previamente tarados (Figura 10). Después, se dejó durante 24 horas en la estufa a 105°C (Figura 11), transcurrido este tiempo se conservó en los desecadores hasta que lleguen a temperatura ambiente para ser nuevamente pesados (Figura 12). Posteriormente se ingresó a la mufla durante 5 horas a 550°C (Figura 13) y se registró su peso final. Mediante la diferencia de estos pesos, se obtuvo el contenido de MO de las muestras.



Figura 10. Pesaje de las muestras.

Tomada por: Quishpe, B (2024).



Figura 11. Ingreso de las muestras en la estufa.

Tomada por: Quishpe, B (2024).



Figura 12. Conservación de las muestras en el desecador.

Tomada por: Quishpe, B (2024).



Figura 13. Calcinación de las muestras en la mufla.

Tomada por: Quishpe, B (2024).

2.3.2 Determinación de nitratos

Para la determinación de este parámetro se usó el método de referencia Método 4500-NO₃:B junto con el método de adición de un estándar, debido a que las muestras tenían componentes que generaban interferencias en la determinación de los nitratos. Por lo que, con el objetivo de minimizar estas interferencias se usó este método que consistió en utilizar a la muestra como especie de “blanco” y se le añadió una cierta cantidad de analito (Harris, 2016). Para ello, se añadió una cantidad conocida y creciente del analito a determinar a alícuotas de la muestra conocida y se diluyó al mismo volumen final. Posteriormente, se determinó la señal de todas estas muestras y se representó gráficamente la señal analítica en función de la concentración del estándar añadido. De este modo, se determinó la cantidad de nitratos de cada muestra.

2.3.3 Determinación de textura

La determinación de este parámetro se basó en la norma ASTM D-422 el cual permitió obtener cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas en las muestras de suelo, también es conocido este método como análisis granulométrico por tamizado. Se partió pesando alrededor de 30-40 gramos de suelo seca y disgregada. Posteriormente, se pasó esta muestra por cuatro diferentes tamices de colocados de mayor a menor abertura, y se agitó de modo que la muestra atravesase cada uno de ellos. Se realizó el pesaje de cada muestra restante en los tamices, una vez secas (Figura 14). En base a este proceso y de forma analítica se logró determinar el porcentaje de material que quedó retenido en cada uno de los tamices y se identificó la textura característica de cada muestra.



Figura 14. Muestras restantes de los tamices para ser secadas.
Tomada por: Quishpe, B (2023).

2.3.4 Determinación de pH

El procedimiento para determinar este parámetro se basó en la norma UNE-ISO 10390:2012 Calidad del suelo. Se utilizó una cantidad de alrededor de 40 gramos de muestra de suelo previamente secada y homogenizada. Se colocó esta cantidad en un vaso de precipitación, se agregó agua destilada en una proporción 1:2.5 y se agitó durante 20 minutos utilizando una plancha de agitación (Figura 15). Posteriormente, se dejó reposar 10 minutos; a continuación, con el pH-metro previamente calibrado se introdujo su electrodo en la muestra y se realizó la lectura de pH (Figura16).



Figura 15. Agitación de las muestras.
Tomada por: Quishpe, B (2023).

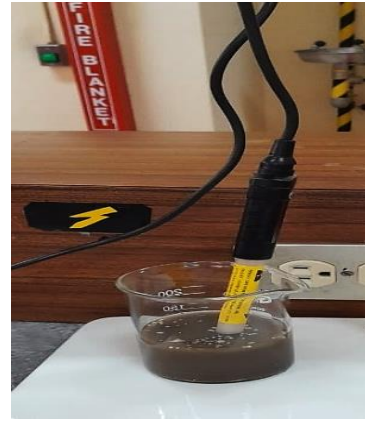


Figura 16. Medición de pH de la muestra.
Tomada por: Quishpe, B (2023).

2.3.5 Determinación de metales

Para la cuantificación de los metales del total de cementerios se consideró determinar dos metales como son el cobre (Cu) y el plomo (Pb), y dos cementerios; un cementerio que pertenece a la categoría de los críticos como es Tambillo y el otro de la categoría completamente adecuados en este caso Nono. Además, se consideró las muestras solamente de los puntos dentro y después del cementerio y a las profundidades de 2 m y 2,5 m. El método para la cuantificación de estos metales fue mediante el uso del espectrómetro de Absorción Atómica marca Perkin Elmer modelo Analyst 300.

2.4 Análisis comparativo de los resultados

En base a los resultados obtenidos experimentalmente, se determinó la desviación estándar de los datos sin embargo al ser la desviación considerable y en ciertos parámetros no tener una relación clara se procedió a evaluar cada uno de los parámetros comparando con los valores límites permisibles establecidos en normas, por lo que se aplicó la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2 del TULSMA tanto para el pH como para los metales. Adicionalmente, para el pH se comparó también con los criterios establecidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos "USDA". En el caso de la materia orgánica se evaluó mediante los criterios establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000, de tal manera que se compruebe la contaminación en estos suelos en el caso de sobrepasar estos valores; además en el caso de no cumplir con el valor de la normativa se obtuvo la cantidad que sobrepasó del límite.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

La tasa de descomposición de un cadáver enterrado depende en gran parte de la profundidad a la que se haya realizado el entierro y de la temperatura del ambiente, por ende, también de la humedad del suelo porque influye en la actividad microbiana, es decir en los microorganismos quienes son los principales descomponedores del suelo (Carter et al., 2010). También es primordial la textura del suelo, por tanto, en base a la caracterización de las muestras analizadas; a continuación, se presenta la textura obtenida de las muestras en la Tabla 3.

Tabla 3. Textura de las muestras de los cementerios

Profundidad (m)	Antes del cementerio			En el cementerio			Después del cementerio		
	2	2.5	3	2	2.5	3	2	2.5	3
Tambillo	Arcillosa						Arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Arcillosa
La Libertad de Chillogallo	Franco arcillo arenosa						Arcillo arenosa		
Nanegal	Franco arcillo arenosa								
Aloasí	Franco arcillo arenosa								
Lumbisí	Franco arcillo arenosa								
Uyumbicho	Franco arcillo arenosa								
Tababela	Franco arcillo arenosa			Franco arenosa			Franco arcillosa arenosa		
Guangopolo	Franco arcillo arenosa								
Descanso Eterno	Franco arcillo arenosa								
Chavezpamba	Franco arcillo arenosa	Franco arenosa	Areno francosa	Franco arcillo arenosa		-	Franco arcillo arenosa		
Puéllaro	Areno francosa			Franco Arenosa					
Nono	Areno francosa			Areno francosa	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa	Areno francosa		

Fuente: Quishpe, B (2024).

A partir de la Tabla 3, se tiene que en la mayoría de las categorías de los cementerios la textura cambia en las distintas profundidades y solamente para la categoría de “los ligeramente adecuados” su textura es la misma en todas las profundidades. Ahora bien, analizando cada uno de los cementerios se evidenció que en el caso de Tambillo su textura

tiene una semejanza en los tres puntos de muestreo prevaleciendo una textura con características areno arcillosas. En el caso, de la textura del cementerio de la Libertad de Chilligallo es muy similar a Tambillo junto con el cementerio de Nanegal. Es así, que se afirmó que en estos tres cementerios pertenecientes a la categoría de los cementerios críticos se caracterizan por tener una textura franco arcillo arenosa.

En la siguiente categoría, correspondiente a los cementerios “ligeramente adecuados” resultó que para los tres cementerios Aloasí, Lumbisí y Uyumbicho la textura es la misma franca arcillo arenosa. En el caso, de la categoría “moderadamente adecuados” tanto en Tababela como en Guangopolo predomina la textura franco arcilla arenosa, así como también en la categoría de los cementerios “muy adecuados”. Es importante mencionar que en la profundidad de 3 m en el cementerio de Chavezpamba en el punto de muestreo dentro del cementerio no se pudo determinar la textura debido a que el equipo utilizado para tomar las muestras no logró tomar la muestra a esa profundidad ya que en campo se pudo observar que el suelo era muy seco y duro.

Por otro lado, en la última categoría, se observó que la textura que sobresale en los suelos de estos cementerios es areno francosa. Por lo que, de acuerdo, con Silva et al. (2020) en el caso de ser suelos que tienen composiciones arcillosas tienden a ser los más adecuados para ser usados en cementerios debido a que tienen mayor cantidad de microorganismos que facilitan la descomposición de los cadáveres antes de ser lixiviados por el agua de lluvia. Mientras que, si es un suelo con características más arenosas, hay mayor posibilidad de contaminación del suelo y por tanto de la afectación en las aguas subterráneas ya que son suelos más porosos y retienen poca humedad, generando que el lixiviado se infiltre más rápido.

Es así, que en base a los resultados obtenidos se presentó que los suelos de la mayoría de las categorías tienen texturas areno arcillosas por lo que existe una posibilidad de infiltración del lixiviado, sin embargo, es importante considerar la temperatura, así como las precipitaciones de estos sitios que influyen directamente en la movilidad del lixiviado (Gómez et al., 2022).

En base a la composición química del cuerpo humano, los contaminantes liberados son primordialmente amoníaco y dióxido de carbono, aunque también otro tipo de compuestos como son los nitratos (Crisanto-Perrazo et al., 2022).

A continuación, en la Tabla 4 se presentan las concentraciones de nitratos determinados de las muestras de los cementerios época de verano:

Tabla 4. Concentración de nitratos de los cementerios en la época seca

			Tambillo	La Libertad de Chillogallo	Nanegal	Aloasi	Lumbisi	Uyumbicho	Tababela	Guangopolo	Descanso Eterno	Chavezpamba	Puellaró	Nono
Época Seca	Profundidad (m)	Punto de muestreo	Nitratos (mg/kg)											
	2	Antes	23	<5	22	57	26	11	24	15	9	10	14	33
	2,5		17	9	26	29	13	< 5	13	19	<5	22	12	21
	3		38	15	28	65	54	< 5	13	-	<5	<5	11	25
	2	En	16	<5	< 5	<5	< 5	7	21	9	12	12	19	10
	2,5		18	10	11	9	6	15	13	7	6	-	18	8
	3		18	<5	53	<5	< 5	< 5	23	14	<5	-	17	<5
	2	Después	7	<5	9	75	< 5	< 5	17	8	11	7	-	7
	2,5		<5	<5	5	26	< 5	< 5	16	7	<5	<5	26	<5
	3		<5	<5	8	<5	10	< 5	16	<5	<5	<5	34	<5

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

De acuerdo con las concentraciones que se presenta en la Tabla 4, se evidencia que únicamente en el punto de muestreo dentro del cementerio a 2.5 m para todos los cementerios existe una cantidad considerable de nitratos en un rango de entre 6 a 18 mg/kg mientras que en los demás puntos de muestro se presenta al menos una concentración de menos 5 mg/kg que de acuerdo al método utilizado para medir este parámetro es la cantidad mínima que lee el equipo por lo que no se conoce con exactitud cuán menor de 5 mg/kg puede ser el valor real de la concentración.

También se observó que el cementerio de Aloasí presentó los valores más altos de concentraciones de nitratos alcanzando el más alto de 75 mg/kg en el punto de muestreo después del cementerio a 2 m, lo cual pudo haberse influenciado porque tiene una textura franco arcillo arenosa lo que permite el paso de lixiviados y además en base a la Tabla 3 de este trabajo afirma que este sitio tiene una pendiente inclinada lo que facilita la movilización de lixiviados ocasionando que en esa profundidad se hayan acumulado los nitratos.

En base a una investigación realizada por Velasco y Minota (2012), en donde se evalúan la presencia de nitratos en suelos de cementerios y zonas aledañas concluyendo que estos suelos tiene contaminación por nitratos ya que superan una concentración de 0,0428 mg/kg por lo que en comparación con este valor y la mayor concentración de nitratos obtenida en el suelo del cementerio de Aloasí, se afirmó que existe una contaminación por este parámetro debido a que la cantidad de nitratos es mayor, es importante recalcar que las características de los suelos analizados en la investigación por Velasco y Minota (2012), son distintas al suelo

del cementerio de Aloasí por ejemplo los pH tienden a ser menores a 6 mientras que el suelo de Aloasí tiene un pH promedio de 7,75, así como también la frecuencia de las precipitaciones ya que la concentración de 75 mg/kg en el suelo de Aloasí se obtuvo en la época seca por lo que influye en la cantidad de nitratos que se acumulan en el suelo, ya que al existir menor presencia de lluvias se reduce la lixiviación de los contaminante por tanto se acumulan en el suelo.

En la Tabla 5, que se presenta a continuación se observó las concentraciones obtenidas de nitratos en la época lluviosa para todos los cementerios que están clasificados por categorías.

Tabla 5. Concentración de nitratos de los cementerios en la época lluviosa

		Tambillo	La Libertad de Chillogallo	Nanegal	Aloasí	Lumbisí	Uyumbicho	Tababela	Guangopolo	Descanso Eterno	Chavezpamba	Puéllaro	Nono
Época de Invierno	Profundidad (m)	Punto de muestreo											
		Nitratos (mg/kg)											
Época de Invierno	2	11	< 5	< 5	20	15	20	20	15	10	8	21	34
	2,5	< 5	< 5	< 5	11	25	19	13	18	<5	29	18	16
	3	< 5	< 5	< 5	< 5	15	11	16	20	-	12	21	18
	2	11	< 5	< 5	15	24	22	19	11	14	13	18	7
	2,5	< 5	< 5	< 5	12	21	16	12	9	7	11	15	9
	3	< 5	< 5	< 5	< 5	22	16	<5	11	<5	6	18	<5
	2	13	< 5	< 5	24	19	22	17	9	6	7	27	10
	2,5	< 5	< 5	< 5	16	22	15	14	5	<5	<5	25	<5
	3	< 5	< 5	< 5	< 5	15	19	15	<5	<5	<5	30	<5

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

Ahora bien, analizando las concentraciones que se presentan en la Tabla 5 se observó que los nitratos encontrados en la época lluviosa en los cementerios críticos están por debajo de los 5 mg/kg por lo que de acuerdo con Arcos (2020), y en base a la Tabla 2 propuesta en este trabajo, donde se indica que las pendientes de estos cementerios varían entre moderadamente escarpado y fuertemente inclinado junto con la frecuencia de las precipitaciones generaron que los contaminantes se movilizan y lixivien legando a ocasionar una posible contaminación en los cuerpos de agua subterránea aledaños.

Mientras que en las demás categorías existe más cantidad de nitratos, específicamente en Chavezpamba que presenta la mayor concentración de nitratos de 29 mg/kg a los 2.5 m en el punto de muestreo antes del cementerio sin embargo, este valor tuvo una interferencia ya que al momento de la toma de muestra se realizó cerca de unas tumbas ya que no fue factible tomar en otro lado por lo que no fue un punto blanco como se pensó tomar en un principio y

es por eso que en el punto antes del cementerio presenta valores con mayor concentración de nitratos que en el punto dentro del cementerio.

De esta manera, en base a los resultados que se presenta tanto en la Tabla 4 y 5, se obtuvo que el rango de las concentraciones de nitratos varía de 5 a 75 mg/kg por lo que son valores más altos que las concentraciones determinadas en un estudio realizado en suelos de cementerios y zonas cercanas en Colombia por Velasco y Minota (2012) cuyo rango va de 0,0428 a 023 mg/kg debido a que el área de estudio de esta investigación se caracteriza por tener frecuentemente precipitaciones ocasionando que sean suelos con pH menores a 6, es decir ácidos de tal manera que existe una infiltración más rápida generando que el agua arrastre los lixiviados por tanto los nitratos sean desplazados por el suelo hacia las agua subterráneas (Velasco & Minota, 2012).

3.1.1 Resultados de la caracterización de las muestras comparando con la normativa ambiental

3.1.1.1 Resultados del pH comparando con el valor del límite permisible (VLP) de la normativa ambiental-Anexo 2 del TULSMA

A continuación, en la Tabla 6 se presenta los resultados de pH que se determinó en los cementerios críticos Tambillo, La Libertad de Chillogallo y Nanegal:

Tabla 6. Resultados obtenidos del pH en los cementerios Tambillo, La Libertad de Chillogallo y Nanegal en comparación con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

	Época:		Seca			Invierno		
	Profundidad (m)	Punto de muestreo	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?
Tambillo	2	Antes	6,96	6 - 8	Sí	6,84	6 - 8	Sí
	2,5		7,04			6,95		
	3		7,14			7,01		
	2	En	7,27			7,01		
	2,5		7,02			7,05		
	3		7,19			7,13		
	2	Después	7,37			7,31		
	2,5		7,16			7,18		
	3		7,13			6,53		
La Libertad de Chillogallo	2	Antes	7,26	6 - 8	Sí	6,30	6 - 8	Sí
	2,5		7,31			6,52		
	3		6,93			6,51		
	2	En	6,67			6,38		
	2,5		7,13			6,36		
	3		7,19			6,42		
	2	Después	6,31			6,21		
	2,5		6,12			6,58		
	3		6,41			6,17		
Nanegal	2	Antes	6,75	6 - 8	Sí	6,95	6 - 8	Sí
	2,5		6,49			6,53		
	3		7,21			6,75		
	2	En	7,71			6,56		
	2,5		7,2			6,07		
	3		7,33			6,79		
	2	Después	7,35			6,77		
	2,5		6,93			6,81		
	3		7,13			5,97		

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

De acuerdo con la Tabla 6, se obtuvo que los pH en las muestras del cementerio de Tambillo están dentro del rango de 6-8 establecido en la normativa de la calidad del suelo del TULSMA. Y en base a la interpretación del pH según los criterios del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) presentados en la Figura 29 de los Anexos III, se obtuvo que tanto en el caso de la época seca como en la de invierno los pH se consideran neutros ya que están dentro del rango de 6,6 a 7,3.

Además, el pH de todas las muestras analizadas del cementerio de La Libertad de Chillogallo, cumplen con el rango establecido en la normativa ecuatoriana. Y de acuerdo con los criterios propuestos por el USDA en la época seca las muestras son neutras tanto en el punto de muestreo antes y en el cementerio, mientras que las muestras en el punto después del cementerio se consideraron ligeramente ácidas ya que están dentro del rango de 6 a 6,6. En

cambio, en todos los puntos de muestreo de la época de invierno las muestras de este cementerio son ligeramente ácidas.

En el caso de los valores de pH del suelo encontrados en el cementerio de Nono se obtuvo que en la época de verano estos pH estuvieron dentro del rango mientras que en invierno la mayoría de los valores se encontraron dentro de este rango, con la excepción de la muestra en el punto de muestreo después del cementerio a los 3 m de profundidad. Realizando una interpretación de estos valores en base a los criterios propuestos por el USDA, se estableció que en la época seca la mayoría de las muestras tienen pH neutros con excepción de la muestra antes del cementerio en 2.5 m cuyo valor es 6,49 por tanto es ligeramente ácido y en la muestra dentro del cementerio cuyo pH es 7,71 por tanto entra en la clase de pH ligeramente básico ya que está en el rango de 7,3 a 7,7. Por otro lado, en el invierno la mayoría de las muestras si bien se consideran neutras por estar en un rango de 6,6 a 7,3; hay las muestras dentro y después del cementerio a los 2.5 m y 3 m correspondientemente, que pertenecen a la clasificación ligeramente ácido.

Posteriormente, en la Tabla 7 se presenta los valores de pH obtenidos en los cementerios de Aloasí, Lumbisí y Uyumbicho pertenecientes a la categoría de ligeramente adecuados:

Tabla 7. Resultados obtenidos del pH los cementerios de Aloasí, Lumbisí y Uyumbicho con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

Cementerio	Época:		Seca			Invierno			
	Profundidad (m)	Punto de muestreo	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?	
Aloasí	2	Antes	7,91	6 - 8	Sí	7,22	6 - 8	Sí	
	2,5		8,04		No	7,71			
	3		7,49		Sí	7,94			
	2	En	7,59			7,43			
	2,5		7,82			7,5			
	3		7,88			7,56			
	2	Después	7,81			8,05			No
	2,5		7,53			7,84			Sí
	3		7,67		7,69				
Lumbisí	2	Antes	6,13	6 - 8	Sí	8,22	6 - 8	No	
	2,5		7,48			8,25			
	3		7,08			8			
	2	En	5,32			7,17		Sí	
	2,5		5,86			7,15			
	3		7,24			7,65			
	2	Después	6,05			6,85			
	2,5		5,73			7,07			
	3		6,32			6,68			
Uyumbicho	2	Antes	6,13	6 - 8	Sí	5,64	6 - 8	Sí	
	2,5		7,48			5,72			
	3		7,08			6,68			
	2	En	5,32			6,09			
	2,5		5,86			6,61			
	3		7,24			5,87			
	2	Después	6,05			5,65			
	2,5		5,73			5,54			
	3		6,32			6,53			

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En función de la Tabla 7, se tuvo que los pH en el cementerio de Aloasí en la época seca la mayoría de las muestras cumplen con la norma del TULSMA excepto la que está a 2.5 m de profundidad tomada antes del cementerio, mientras que en la época de invierno casi todas las muestras cumplen con la normativa a diferencia de la muestra en el punto después del cementerio a 2 m, donde su valor sale del rango ya que fue de 8,05.

Además, de acuerdo con los criterios del USDA, se obtuvo que las muestras tomadas en el cementerio Aloasí en la época seca tuvieron pH ligeramente básicos los que están en el rango

de 7,3 a 7,7 y básicos los que son mayores a 7,7. Mientras que en el invierno, se obtuvo que la muestra tomada antes del cementerio a los 2 m de profundidad tuvo un pH neutro y dos de las muestras tomadas antes y después del cementerio tuvieron pH básicos mientras que las muestras restantes se consideró con un pH ligeramente básico.

En el caso del cementerio de Lumbisí, se obtuvo que la mayoría de las muestras de este cementerio están dentro del rango que establece la normativa ecuatoriana a excepción de las muestras en el cementerio de 2 m y 2.5 m en la época seca y de las muestras antes del cementerio a las mismas profundidades antes mencionadas, pero en la época de invierno.

Y analizando los valores de pH obtenidos en el cementerio de Lumbisí con los criterios del USDA, existen muestras francamente ácidas quienes obtuvieron un pH menor a 6 como es el caso de las muestras a 2 m y 2.5 m tomadas dentro del cementerio en la época seca y a 2.5 m después del cementerio; también en esta misma época se obtuvo muestras ligeramente ácidas a los 2 m antes y a los 2 m y 3 m después del cementerio.

En las muestras de los cementerios de Uyumbicho se obtuvo que tanto en la época seca como lluviosa todos los valores de pH estuvieron dentro del rango que establece la norma ecuatoriana. Realizando una interpretación de estos valores con los criterios del USDA, se tiene que ambas épocas existen la presencia tanto de pH francamente ácidos, ligeramente ácidos y neutros.

A continuación, en la Tabla 8 están los resultados de pH determinados en los cementerios de Tababela y Guangopolo que están dentro de la categoría moderadamente adecuados:

Tabla 8. Comparación de los resultados obtenidos del pH en los cementerios de Tababela y Guangopolo con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

	Época:		Seca			Invierno		
	Profundidad (m)	Punto de muestreo	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?
Tababela	2	Antes	8,11	6 - 8	No	7,88	6 - 8	Sí
	2,5		8,51			7,53		
	3		8,64			7,51		
	2	En	7,65		Sí	7,69		
	2,5		8,23		No	7,79		
	3		7,32		Sí	7,71		
	2	Después	8,18		No	7,56		
	2,5		7,58		Sí	7,7		
	3		8,18		No	7,72		
Guangopolo	2	Antes	7,04	6 - 8	Sí	6,77	6 - 8	Sí
	2,5		7,23			6,57		
	3		7,83			6,88		
	2	En	7,46			7,09		
	2,5		7,62			6,90		
	3		7,55			6,69		
	2	Después	7,6			7,31		
	2,5		7,21			6,70		
	3		7,38			6,68		

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En función con la Tabla 8, se observó que, en la época seca, seis de las nueve muestras del cementerio de Tababela no cumplen con el valor establecido en la normativa del TULSMA, sin embargo, en el invierno todos los valores están dentro de la normativa. Estos valores analizando con los criterios del USDA, se obtuvo que en verano varían después un pH ligeramente básico hasta básico y este comportamiento es similar con lo que sucede en el invierno.

En el caso del cementerio de Guagopolo tanto en la época seca como en la época lluviosa los valores de pH resultantes cumplen con el valor establecido en la normativa ecuatoriana. Ahora bien, de acuerdo con los criterios del USDA, los pH en este cementerio van desde neutro, ligeramente ácido hasta básico específicamente en la muestra tomada antes del cementerio en la época seca a los 3 m.

Seguidamente, se tiene la Tabla 9 donde se encuentran los resultados determinados de pH en los cementerios de Descanso Eterno y Chavezpamba:

Tabla 9. Resultados obtenidos del pH en los cementerios de Descanso Eterno y Chavezpamba con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

	Época:		Seca			Invierno			
	Profundidad (m)	Punto de muestreo	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?	
Descanso Eterno	2	Antes	7,2	6 - 8	Sí	7,88	6 - 8	Sí	
	2,5		7,84			7,53			
	3		8,23		No	7,51			
	2	En	7,84		Sí	7,69			
	2,5		8,13			No			7,79
	3		8,81			No			7,71
	2	Después	10,26		No	7,56			
	2,5		9,18			7,7			
	3		8,45			7,72			
Chavezpamba	2	Antes	7,81	6 - 8	Sí	6,90	6 - 8	Sí	
	2,5		7,7			7,08			
	3		8,34		No	7,12			
	2	En	7,8		Sí	7,36			
	2,5		6,92			7,28			
	3		-			7,40			
	2	Después	6,2		Sí	7,06			
	2,5		5,65			7,13			
	3		6,34			7,28			

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En base a la Tabla 9, se obtuvo que en las muestras tomadas en el cementerio Descanso Eterno en la época seca la mayoría de las muestras estuvieron fuera del rango de la normativa ecuatoriana mientras que para la época lluviosa todas están dentro del rango establecido de la norma. Es evidente, que especialmente en las muestras tomadas después del cementerio tienen pH muy altos a comparación de los pH de las demás muestras en otras profundidades e incluso en comparación con los pH de los demás cementerios analizados. Al presentar un pH tan alto, este suelo por ende tiene una alta alcalinidad por lo que es probable que exista severas limitaciones en la disponibilidad de nutrientes (Osorio, 2012).

Además, con respecto a los criterios del USDA, casi todas las muestras del cementerio Descanso Eterno la época seca son básicas ya que están por encima de 7,7 mientras que en la época lluviosa si bien la mayoría tiene pH básicos también existe la presencia de pH ligeramente básico.

También, se obtuvo que en la época seca la mitad de los valores de pH de las muestras analizadas del cementerio de Chavezpamba cumplen con la normativa ecuatoriana y la otra

mitad se salen del rango, a diferencia de los valores de pH obtenidos en la época lluviosa donde todos están dentro del rango establecido. Además, en la época seca no se pudo determinar su pH debido a que al estar el suelo muy compacto no fue posible su toma de muestra. Interpretando estos valores con los criterios mencionados por el USDA, se tiene en la época seca existen pH desde ligeramente ácido hasta básicos en cambio en la época de invierno los pH varían desde neutros hasta ligeramente básicos.

Analizando los pH tanto de Descanso Eterno y Chavezpamba pertenecientes a la categoría de muy adecuados, se observó que sus pH tienden a ser más básicos e incluso Descanso Eterno es el cementerio con mayor pH por tanto la cantidad de nutrientes es escasa a comparación de otros cementerios.

En la Tabla 10 que se presenta a continuación, se observa los resultados de pH determinados en los cementerios de Puéllaro y Nono pertenecientes a la categoría completamente adecuados:

Tabla 10. Comparación de los resultados obtenidos del pH en los cementerios de Puéllaro y Nono con el Valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

	Profundidad (m)	Punto de muestreo	Época Seca			Época Invierno					
			pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?	pH	VLP de la Norma-Anexo 2	¿Cumple?			
Puéllaro	2	Antes	8,66	6 - 8	No	9,81	6 - 8	No			
	2,5		9,91			9,96					
	3		9,72			9,02					
	2	En	9,03			9,90					
	2,5		8,72			9,01					
	3		9,16			7,70					
	2	Después	8,28			8,19			Sí	8,30	No
	2,5		8,47			8,30					
	3		7,02			8,21					
3	7,02		8,21								
Nono	2	Antes	6,80	6 - 8	Sí	6,39	6 - 8	Sí			
	2,5		6,99			6,82					
	3		7,45			6,58					
	2	En	7,28			6,69					
	2,5		7,64			6,67					
	3		6,87			6,61					
	2	Después	7,40			6,50					
	2,5		7,20			6,38					
	3		7,19			6,06					

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En esta Tabla 10, se evidenció que los valores de pH obtenidos de las muestras tomadas en el cementerio de Puéllaro en la época seca casi todos están fuera del rango mencionado en la norma ecuatoriana y solamente a la profundidad de 3 m en el punto de muestreo de después del cementerio está dentro del rango. En cambio, en el invierno casi todas las muestras se encuentran dentro del rango menos la que se encuentra a 3 m de profundidad y fue tomada en el cementerio. Y de acuerdo a los criterios del USDA, en ambas categorías se consideran que las muestras tienen pH básicos.

En base a los valores de pH determinados en el cementerio de Nono, se obtuvo que en ambas épocas los pH están dentro del rango establecido por la norma ecuatoriana y de acuerdo con los criterios planteados por el USDA, casi todas las muestras presentan pH neutros a excepción de tres muestras que fueron tomadas en la época seca antes del cementerio a 3 m, dentro del cementerio a 2.5 m y después del cementerio a 2 m, cuyos pH se consideran ligeramente básicos.

Ahora bien, en base a una investigación realizada por Gómez et al. (2022); donde se analizó las características de los suelos de cuatro cementerios del Ecuador entre ellas el pH del cementerio de Nanegal se obtuvo que el pH de su suelo tiende a ser ácido y cumple con el rango establecido en la normativa ecuatoriana por lo que de acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 6 de este trabajo también se determinó que pH de este cementerio tiende a ser ácido y está dentro del valor establecido en la norma ecuatoriana.

3.1.1.2 Concentración de la materia orgánica comparando con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000

De acuerdo con Gómez et al. (2022), el cuerpo humano es una fuente de materia orgánica que, si se encuentra en condiciones adecuadas y con la influencia de carroñeros, insectos y microorganismo descomponedores, la descomposición puede acelerarse con el tiempo. A continuación, en la Tabla 11 se presenta la materia orgánica obtenida de las muestras analizadas en los cementerios críticos y su interpretación con la normativa mexicana ya que este parámetro en la normativa ecuatoriana no se encuentra establecido.

Tabla 11. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios críticos con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000

	Profundidad (m)	Punto de muestreo	Época Seca		Época Invierno		
			% MO	Interpretación con la Noma Mexicana	% MO	Interpretación con la Noma Mexicana	
Tambillo	2	Antes	4,11	Bajo	3,69	Muy bajo	
	2,5		5,59		3,69		
	3		3,80	Muy bajo	4,00		
	2	En	4,67	Bajo	3,94		
	2,5		4,38		3,12		
	3		5,42		4,72		Bajo
	2	Después	3,78	Muy bajo	2,86		Muy bajo
	2,5		3,51		2,75		
	3		4,40	Bajo	3,57		
La Libertad de Chillogallo	2	Antes	4,02	Muy bajo	4,00	Muy bajo	
	2,5		3,54		3,17		
	3		2,58		2,78		
	2	En	4,80	Bajo	4,62	Bajo	
	2,5		4,94		4,62		
	3		2,97	Muy Bajo	2,52		Muy Bajo
	2	Después	4,23	Bajo	4,16	Bajo	
	2,5		5,85		5,41		
	3		4,49		4,04		Muy Bajo
Nanegal	2	Antes	2,04	Muy Bajo	0,88	Muy Bajo	
	2,5		7,47	Medio	3,02		
	3		8,94		8,00		Medio
	2	En	1,29	Muy Bajo	1,18	Muy Bajo	
	2,5		6,35	Medio	5,05	Bajo	
	3		8,85		8,57	Medio	
	2	Después	3,40	Muy Bajo	1,24	Muy Bajo	
	2,5		5,90	Bajo	3,35		
	3		9,43	Medio	8,87		Medio

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En base al porcentaje de materia orgánica que se presenta en la Tabla 11, se realizó una comparación con la Noma Oficial Mexicana NOM 021- SEMARNAT. En el caso del cementerio de Tambillo se observó que en la época seca este porcentaje fue bajo mientras que en la época lluviosa este porcentaje fue aún menor, caracterizándose como muy bajo. El comportamiento fue similar para el cementerio de La Libertad de Chillogallo mientras que en Nanegal en la época seca se obtuvo una cantidad media de materia orgánica y en invierno de igual manera que en los otros cementerios fue muy bajo.

En la Tabla 12, se encuentran los resultados obtenidos de la materia orgánica en los cementerios de la categoría ligeramente adecuados:

Tabla 12. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios de la categoría ligeramente adecuados con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT

	Profundidad (m)	Punto de muestreo	Época Seca		Época Invierno					
			% MO	Interpretación con la Norma Mexicana	% MO	Interpretación con la Norma Mexicana				
Aloasí	2	Antes	2,74	Muy Bajo	2,51	Muy Bajo				
	2,5		2,35		2,12					
	3		2,33		2,24					
	2	En	3,02		2,76					
	2,5		2,61		2,01					
	3		2,34		2,15					
	2	Después	2,34		2,45					
	2,5		2,96		2,81					
	3		2,94		2,72					
Lumbisí	2	Antes	2,90	Muy Bajo	3,36	Muy Bajo				
	2,5		3,25		2,63					
	3		4,89		2,60					
	2	En	1,65		Muy Bajo		3,33	Bajo		
	2,5		3,91				3,92			
	3		3,99				3,82			
	2	Después	2,38				2,25			
	2,5		3,45				3,39			
	3		3,62				4,05			
Uyumbicho	2	Antes	3,34	Bajo		2,54	Muy Bajo			
	2,5		3,21			2,59				
	3		4,69			3,93				
	2	En	4,24		Muy Bajo	2,91		Muy Bajo		
	2,5		4,10			3,75				
	3		3,77			3,23				
	2	Después	3,78			Muy Bajo			3,13	Bajo
	2,5		3,84						3,10	
	3		4,20						4,77	

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

Cómo se observa en la Tabla 12, en ambas épocas la cantidad de materia orgánica obtenida en las muestras de los cementerios Aloasí, Lumbisí y Uyumbicho pertenecientes a la categoría ligeramente adecuados varían entre bajas y muy bajas, sin embargo, existe en mayor proporción cantidades muy bajas.

Posteriormente, se tiene la Tabla 13 donde se observa los valores de materia orgánica obtenidos en los cementerios moderadamente adecuados:

Tabla 13. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios moderadamente adecuados con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT

	Profundidad (m)	Punto de muestreo	Época Seca		Época Invierno	
			% MO	Interpretación con la Norma Mexicana	% MO	Interpretación con la Norma Mexicana
Tababela	2	Antes	5,19	Bajo	4,82	Bajo
	2,5		5,64		6,22	
	3		3,58		Muy Bajo	
	2	En	3,26	5,22		
	2,5		2,88	4,83		
	3		3,41	5,08		
	2	Después	2,88	5,05		
	2,5		3,21	5,43		
	3		3,10	4,59		
Guangopolo	2	Antes	8,40	Medio	6,94	Medio
	2,5		7,75		6,24	
	3		8,81		6,07	
	2	En	5,86	Bajo	4,82	Bajo
	2,5		5,18		4,66	
	3		7,98	Medio	4,37	
	2	Después	4,26	Bajo	3,82	Muy Bajo
	2,5		4,56		3,71	
	3		5,08		3,72	

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

A partir del porcentaje de materia orgánica que se presenta en esta Tabla 13, se evidenció que en el cementerio de Tababela en el caso de la época seca predomina la cantidad de materia orgánica muy baja mientras que en el invierno fue medio. Para el caso, del cementerio de Guangopolo en la época seca la presencia de materia orgánica es baja mientras que en la época de invierno varían entre muy bajo, bajo y medio. Considerando que Guangopolo tiene un porcentaje promedio de humedad de 21,9% y una pendiente fuertemente inclinada entonces es probable que por las precipitaciones de en la época de invierno, se lixivió por lo que hay un descenso de materia orgánica conforme aumentan las profundidades.

En la Tabla 14, se muestra los valores obtenidos de materia orgánica de los cementerios pertenecientes a la categoría muy adecuados:

Tabla 14. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios muy adecuados con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT

	Profundidad (m)	Punto de muestreo	Época Seca		Época Invierno			
			% MO	Interpretación con la Norma Mexicana	% MO	Interpretación con la Norma Mexicana		
Descanso Eterno	2	Antes	-	-	3,54	Muy Bajo		
	2,5		2,18		3,79			
	3		2,99		-			
	2	En	2,34	Muy Bajo	2,84			
	2,5		2,01		2,65			
	3		1,90		2,58			
	2	Después	2,04		2,41			
	2,5		2,05		1,71			
	3		1,73		2,52			
Chavezpamba	2	Antes	3,00		Muy Bajo		2,73	Muy Bajo
	2,5		2,44				2,30	
	3		2,22				1,52	
	2	En	3,16	Bajo		2,69		
	2,5		4,12	-		2,62		
	3		-	-		2,73		
	2	Después	2,06	Muy Bajo		1,33		
	2,5		2,42			2,14		
	3		3,10			3,10		

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

Conforme las concentraciones presentadas en la Tabla 14, se evidenció que para ambos cementerios de esta categoría en las dos épocas la presencia de cantidad orgánica comparando con la normativa mexicana es muy baja.

En la Tabla 15, se encuentran los resultados de materia orgánica obtenidos en el cementerio de la categoría completamente adecuados:

Tabla 15. Comparación de la materia orgánica obtenida en los cementerios completamente adecuados con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT

	Profundidad (m)	Punto de muestreo	Época Seca		Época Invierno		
			% MO	Interpretación con la Norma Mexicana	% MO	Interpretación con la Norma Mexicana	
Puéllaro	2	Antes	1,26	Muy Bajo	4,13	Bajo	
	2,5		2,59		2,62	Muy Bajo	
	3		1,42		1,65		
	2	En	1,69		1,43		
	2,5		1,89		1,48		
	3		1,72		1,24		
	2	Después	2,17		2,13		
	2,5		1,85		1,39		
	3		2,02		1,74		
Nono	2	Antes	1,47	Muy Bajo	1,73		Muy Bajo
	2,5		1,09		1,38		
	3		0,85		1,12		
	2	En	0,94		1,21		
	2,5		0,99		1,32		
	3		4,32		5,83	Bajo	
	2	Después	0,97		1,85	Muy Bajo	
	2,5		0,54		0,86		
	3		4,14		5,41		

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En base a los porcentajes de materia orgánica que se presentan en la Tabla 15, se obtuvo que las muestras de los cementerios pertenecientes a la categoría completamente adecuado representan tener cantidades muy bajas.

De acuerdo con un estudio realizado en cementerios de Nigeria por Itodo et al. (2021), donde se recolectaron muestras de suelo de cinco cementerios considerando los entierros dentro de los últimos 10 años, se encontró que el pH fue de 4,80 y el contenido de materia orgánica fue alrededor del 3,17%, este valor es cercano a la cantidad de materia orgánica que presentan los cementerios de la categoría ligeramente adecuados de 3,15%, es así que a pesar de que las condiciones de estos suelos varían con respecto a los suelos de los cementerios de Nigeria como es en el caso del pH donde los suelos de Aloasí, Lumbisí y Uyumbicho alcanzan valores alrededor de los de los 5,32 a 8,04 en época seca y de 5,54 en 8,25 en época lluviosa, en la cantidad de MO no se ve reflejada una gran variación.

3.1.1.3 Concentración de los metales comparando con la normativa ambiental- Anexo 2 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

Las concentraciones de los metales de cromo y plomo que se presentan a continuación se obtuvieron a partir de las muestras tomadas antes y en los cementerios de Tambillo y Nono en las profundidades de 2.5 m y 3 m tanto en la época de verano como de invierno. Es importante mencionar que se descartó las muestras a la profundidad de los 2 m debido a que Gómez et al. (2022) afirma que el entierro de un cuerpo se da una profundidad de 2.5 m por lo que, si bien la descomposición de un cuerpo humano después de la muerte es un proceso natural, este se relaciona con la introducción de contaminantes metálicos en el suelo de los cementerios (Neckel et al., 2021).

Además, se consideró realizar metales solamente de un cementerio de la categoría críticos y completamente adecuados como es Tambillo y Nono correspondientemente, debido a que de esta manera es factible observar la variación que existe entre la cantidad de la concentración de metales que se presenta en un cementerio ubicado en un suelo con condiciones aptas para su uso y un cementerio ubicado en suelos de condiciones no óptimas.

Seguidamente, se establece la Tabla 16 con los resultados obtenidos del cromo en el cementerio de Tambillo:

Tabla 16. Resultados obtenidos del cromo en el cementerio de Tambillo en comparación con el valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

Cementerio de Tambillo					
Metal	Cromo				
Época	Muestra	Profundidad	Valor (mg/kg)	Normativa-TULSMA Anexo 2 (mg/kg)	¿Es <54; cumple?
Verano	Antes del cementerio	2,5	29,30	54	Sí
		3	21,11		
	En el cementerio	2,5	27,22		
		3	31,62		
Invierno	Antes del cementerio	2,5	26,93		
		3	25,96		
	En el cementerio	2,5	31,62		
		3	30,03		

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

De acuerdo con la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2 se indica que la concentración de cromo en el suelo es de 54 mg/kg, comparando este valor con las concentraciones obtenidas en la Tabla 16, resultó que en ninguna de las muestras tomadas del cementerio de Tambillo a las profundidades de 2.5 m y 3 m en cualquiera de las dos

épocas, no sobrepasó el valor de la normativa por tanto en este cementerio no existe la presencia de contaminación con cromo.

En la Tabla 17, se presenta los resultados obtenidos del plomo en el cementerio de Tambillo:

Tabla 17. Comparación de los resultados obtenidos del plomo en el cementerio de Tambillo con el valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

Cementerio de Tambillo						
Metal	Plomo					
Época	Muestra	Profundidad	Valor (mg/kg)	Normativa-TULSMA Anexo 2 (mg/kg)	¿Es <19; cumple?	Cantidad que excede (mg/kg)
Verano	Antes del cementerio	2,5	44,92	19	No	25,92
		3	38,70			19,70
	En el cementerio	2,5	35,00			16,00
		3	42,16			23,16
Invierno	Antes del cementerio	2,5	35,91			16,91
		3	44,92			25,92
	En el cementerio	2,5	42,16			23,16
		3	35,33			16,33

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En base a las concentraciones obtenidas en la Tabla 17, se evidenció que el plomo encontrado en las muestras analizadas del cementerio de Tambillo es superior al valor establecido por la normativa de 19 mg/kg. Tanto en las dos épocas se evidenció que las muestras pertenecientes a las del antes del cementerio obtuvo una misma cantidad de excedente de plomo sin embargo fueron de diferentes profundidades una a las 2.5 m en la época de verano y otra a los 3 m en la época de invierno. De esta manera, se observó que el suelo del cementerio de Tambillo tiene contaminación con plomo.

En la Tabla 18, se presenta los resultados obtenidos del cromo en el cementerio de Nono:

Tabla 18. Comparación de los resultados obtenidos del cromo en el cementerio de Nono con el valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

Cementerio de Nono						
Metal	Cromo					
Época	Muestra	Profundidad	Valor (mg/kg)	Normativa-TULSMA Anexo 2 (mg/kg)	¿Es <19; cumple?	Cantidad que excede (mg/kg)
Verano	Antes del cementerio	2,5	47,79	54	Sí	-
		3	39,13			-
	En el cementerio	2,5	47,74			-
		3	41,85			-
Invierno	Antes del cementerio	2,5	65,67		No	11,67
		3	46,07		Sí	-
	En el cementerio	2,5	46,07			-
		3	40,32			-

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En la Tabla 18, se observó que, en la mayoría de los puntos de muestreo en el cementerio de Nono, las concentraciones de cromo cumplían con el valor planteado en la norma sin embargo a la profundidad de 2.5 m antes del cementerio en la época de invierno si se evidenció presencia de cromo de 65,67 mg/kg, con una cantidad excedente de 11,67 mg/kg respecto al valor de 54 mg/Kg planteado en la normativa. Lo cual es importante considerar debido a que Nono es un cementerio de la categoría moderadamente adecuada por tanto la contaminación debería ser la relativamente baja o nula.

En la Tabla 19, se presenta los resultados obtenidos del plomo en el cementerio de Nono:

Tabla 19. Comparación de los resultados obtenidos del plomo en el cementerio de Nono con el valor de la Norma de Calidad Ambiental del Suelo-Anexo 2

Cementerio de Nono						
Metal	Plomo					
Época	Muestra	Profundidad	Valor (mg/kg)	Normativa-TULSMA Anexo 2 (mg/kg)	¿Es <19; cumple?	Cantidad que excede (mg/kg)
Verano	Antes del cementerio	2,5	24,78	19	No	5,78
		3	30,23			11,23
	En el cementerio	2,5	24,82			5,82
		3	22,67			3,67
Invierno	Antes del cementerio	2,5	21,89		Sí	-
		3	11,27		Sí	-
	En el cementerio	2,5	17,27		No	5,96
		3	24,96			

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En base en los resultados presentados en la Tabla 19, se evidenció que, de las ocho muestras analizadas del cementerio de Nono, seis de ellas presentan concentraciones de plomo que no cumplen con el valor de la normativa correspondientes a todas las muestras de la época de verano mientras que de la época de invierno corresponden a las muestras antes del cementerio a la profundidad de 2.5 m y en el cementerio a la profundidad de 3 m. Por lo que es evidente que en este cementerio si existe la presencia de contaminación de plomo.

En base a los resultados que se obtuvo de un estudio por Neckel et al. (2016) en Brasil, se determinó la presencia de metales pesados en tres cementerios a las profundidades de 0,20 cm a 0,40 cm donde el máximo valor obtenido del cromo fue de 44 mg/kg y del plomo de 127 mg/kg por lo que comparando con los valores obtenidos en los cementerios de Tambillo y Nono se obtuvieron valores considerablemente bajos, lo cual es evidente que el principal factor que influenció estos resultados es la profundidad sin embargo tanto para los cementerios analizados en el país como en Brasil los valores del cromo cumplen con la normativa ecuatoriana así como los criterios establecidos por el Consejo Nacional de Medio

Ambiente de Brasil “CONAMA” establecidos en la Resolución N420 del 2009, mientras que en caso del plomo en ambos países están fuera del rango del cumplimiento de la normativa por lo que es evidente la contaminación del plomo en los cementerios.

3.1.2 Comparación del nivel de contaminación de los cementerios entre las dos épocas en base a los parámetros determinados

3.1.2.1 Concentración de la materia orgánica en la época seca y lluviosa

A continuación, se presenta la Figura 17 con los gráficos de la concentración de MO:

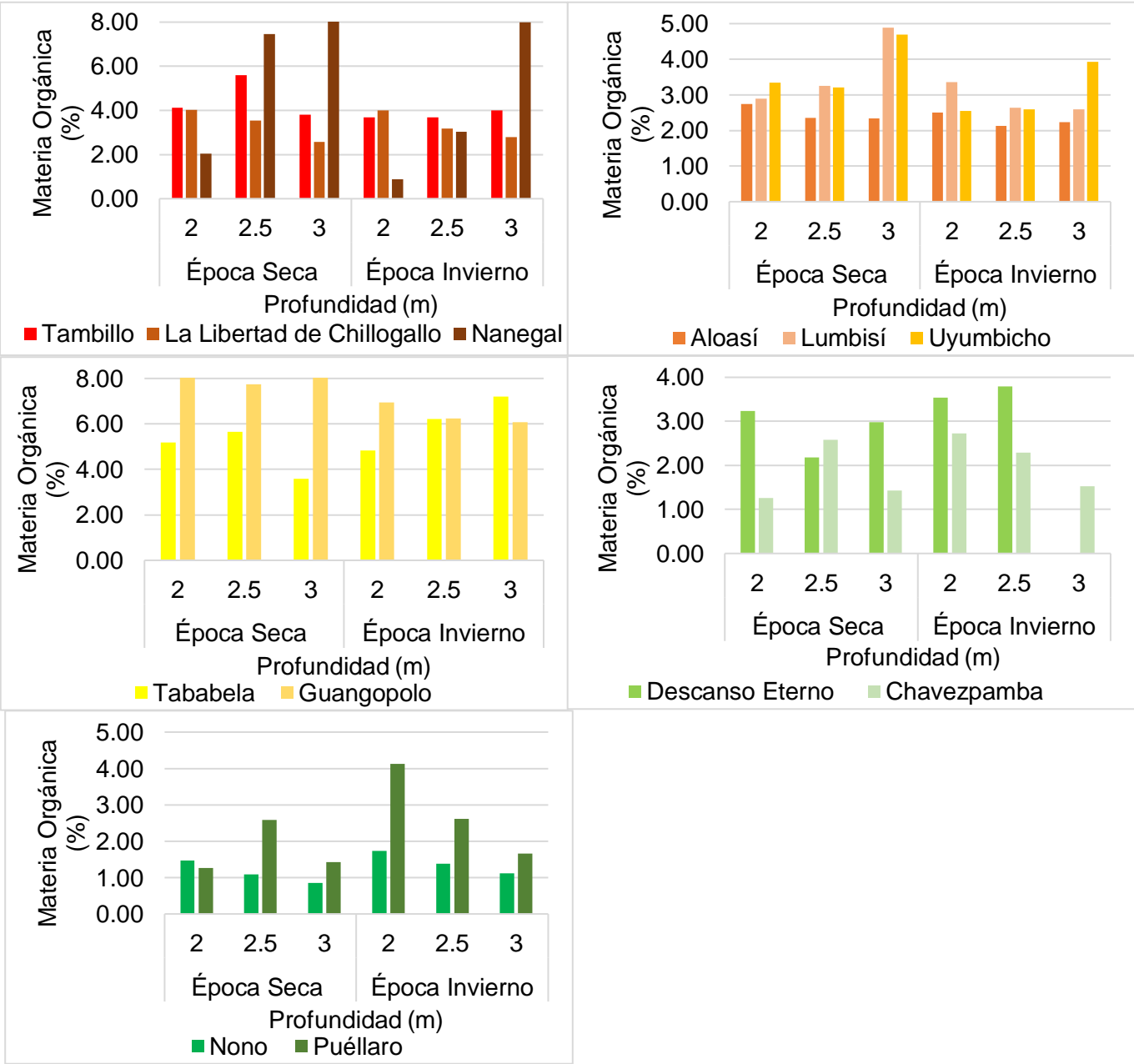


Figura 17. Concentración de la materia orgánica obtenida en el punto de muestreo antes de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

Posteriormente, se presenta la Figura 18 con los gráficos de la concentración de MO obtenida dentro de los cementerios:

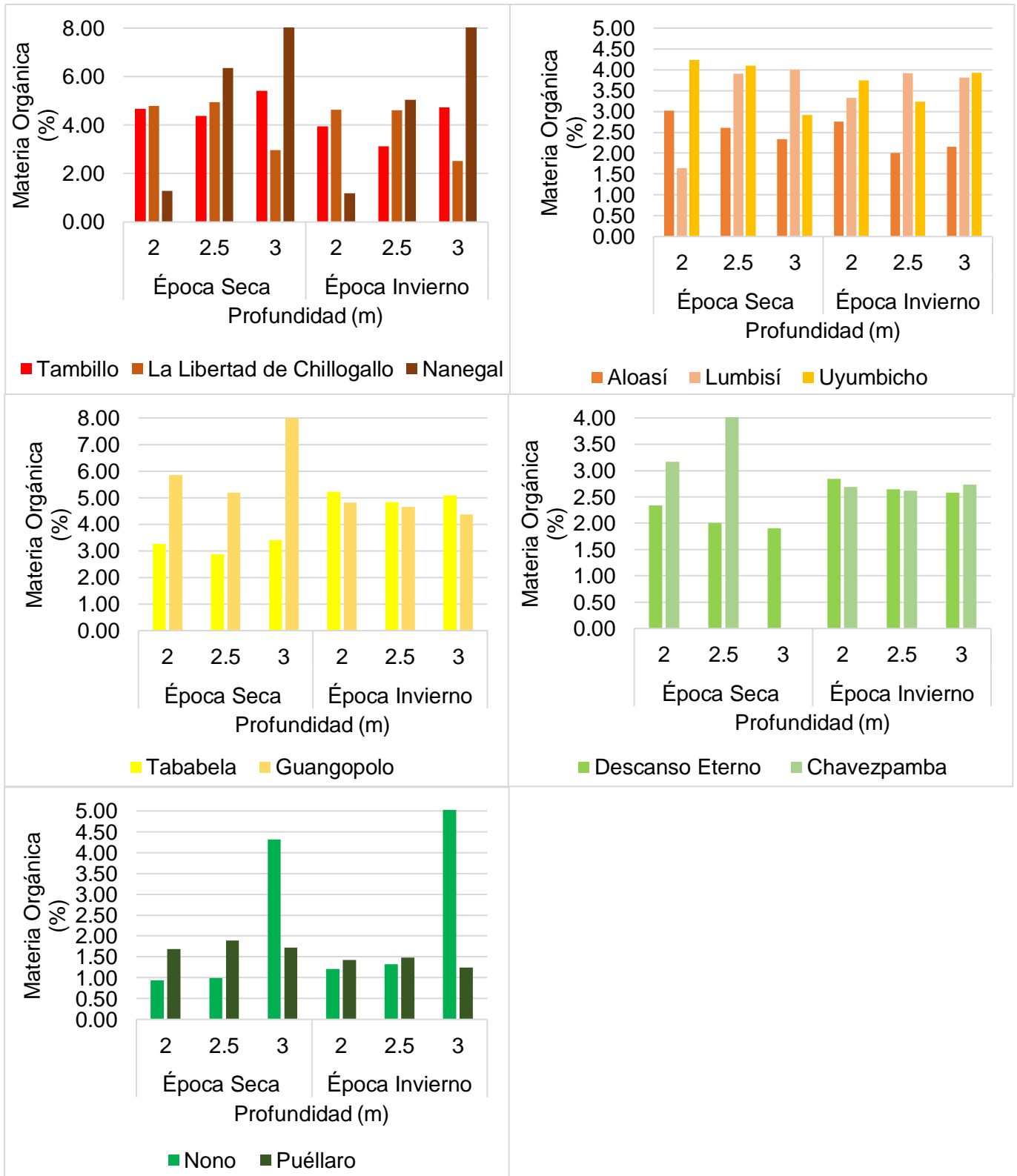


Figura 18. Concentración de la materia orgánica obtenida en el punto de muestreo dentro de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.

Elaborada por: Quishpe, B (2024).

Seguidamente, se encuentra la Figura 19 con los gráficos de la concentración de MO determinada después de los cementerios:

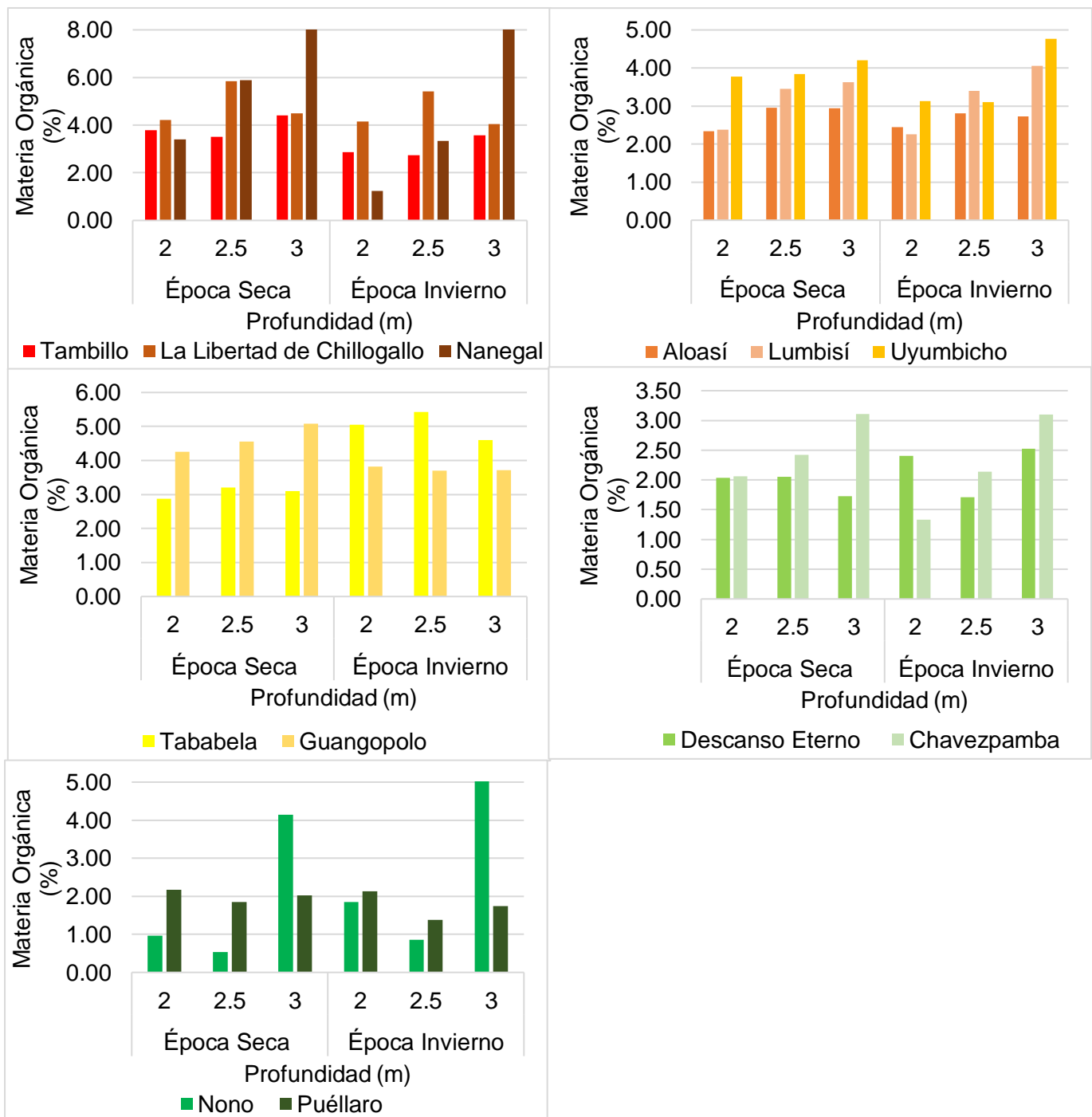


Figura 19. Comparación de la materia orgánica obtenida en el punto de muestreo después de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.
Elaborada por: Quishpe, B (2024).

En base a las Figuras 17, 18 y 19 se observaron alrededor de 15 gráficos de barras representando las concentraciones de la materia orgánica antes del sitio, dentro del mismo y después del cementerio, se evidenció que no existe una tendencia clara de este parámetro

con las épocas lo cual se justifica con el hecho de que la toma de muestra de la segunda época si bien se consideró como invierno no hubo la presencia de precipitaciones fuertes y constantes durante 15 días, por lo que las precipitaciones al ser un parámetro que influye directamente en la presencia de materia orgánica este se vio afectado lo cual es evidente en los resultados obtenidos. Sin embargo, a pesar de eso, comparando estas concentraciones con la norma mexicana representan tener concentraciones entre muy baja, baja y media. Justamente en la categoría de los cementerios críticos, en Nanegal en el punto dentro del cementerio se presentó la mayor concentración de materia orgánica a las profundidades de 2.5 m y 3 m.

También es notorio, como el cementerio de Nono que pertenece a la categoría completamente adecuado en comparación con el resto de los cementerios presenta las menores concentraciones de este parámetro.

Adicionalmente, de acuerdo con los valores obtenidos en el punto de muestreo dentro del cementerio de Nanegal a la profundidad de 2.5 m para la época de verano se obtuvo un porcentaje de 6,35% de MO mientras que en invierno fue de 5,90% y conforme aumenta su profundidad este valor tiene a seguir aumentando por lo que conforme al estudio realizado por Gómez et al. (2022) donde se obtuvo 7,1% de MO y afirma que esta disminuye conforme se aumenta la profundidad, se refutaría ya que en los resultados obtenidos a los 3 m se observó que la MO orgánica aumentó en ambas épocas.

3.1.2.2 Comparación de los nitratos determinados

Acontinuación, se encuentra la Figura 20 con los gráficos de la concentración de nitratos determinada antes de los cementerios:

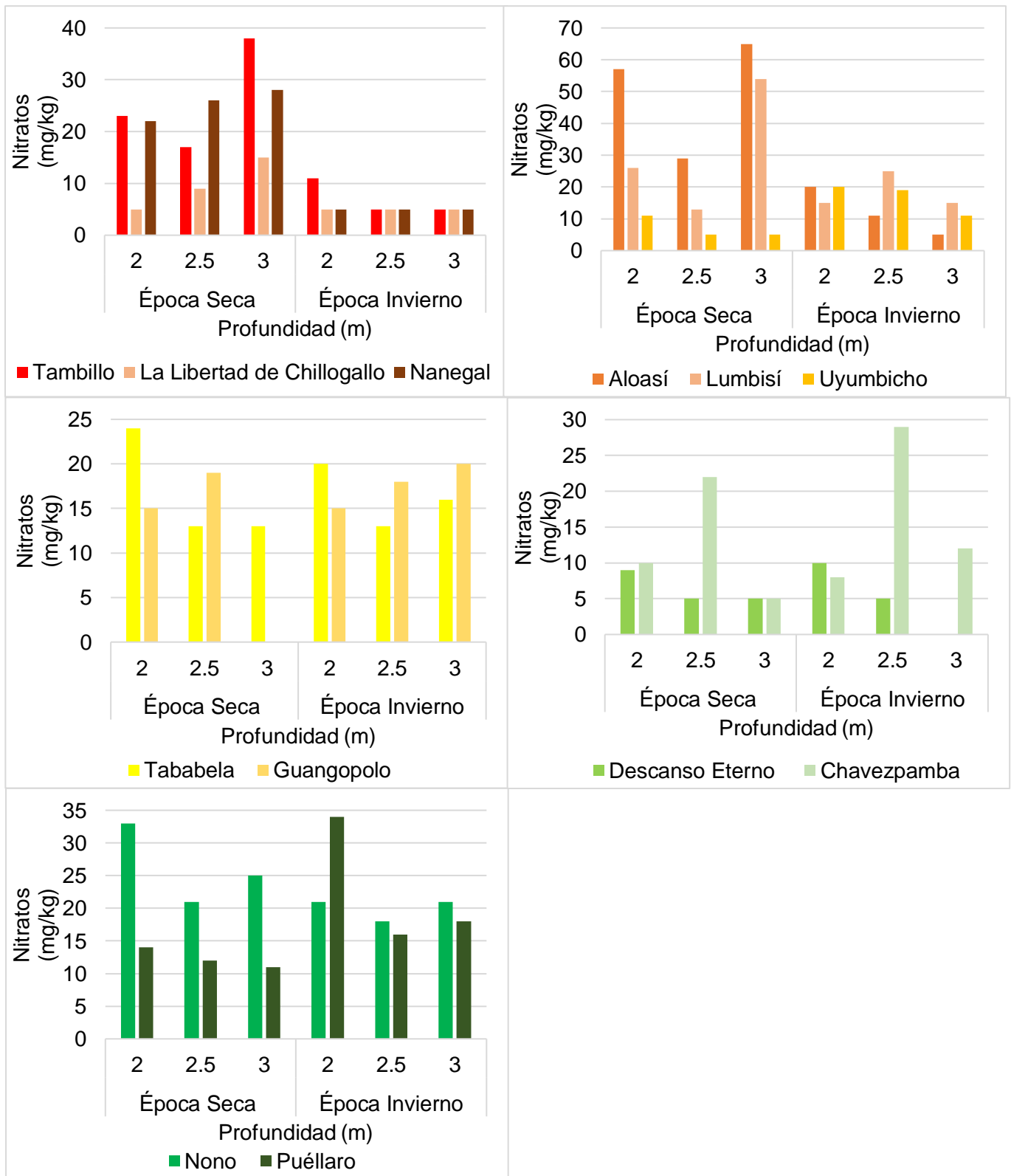


Figura 20. Concentración de los nitratos obtenidos en el punto de muestreo antes de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.
Elaborado por: Quishpe, B (2024).

Después, se encuentra la Figura 21 con los gráficos de la concentración de nitratos determinada dentro de los cementerios:

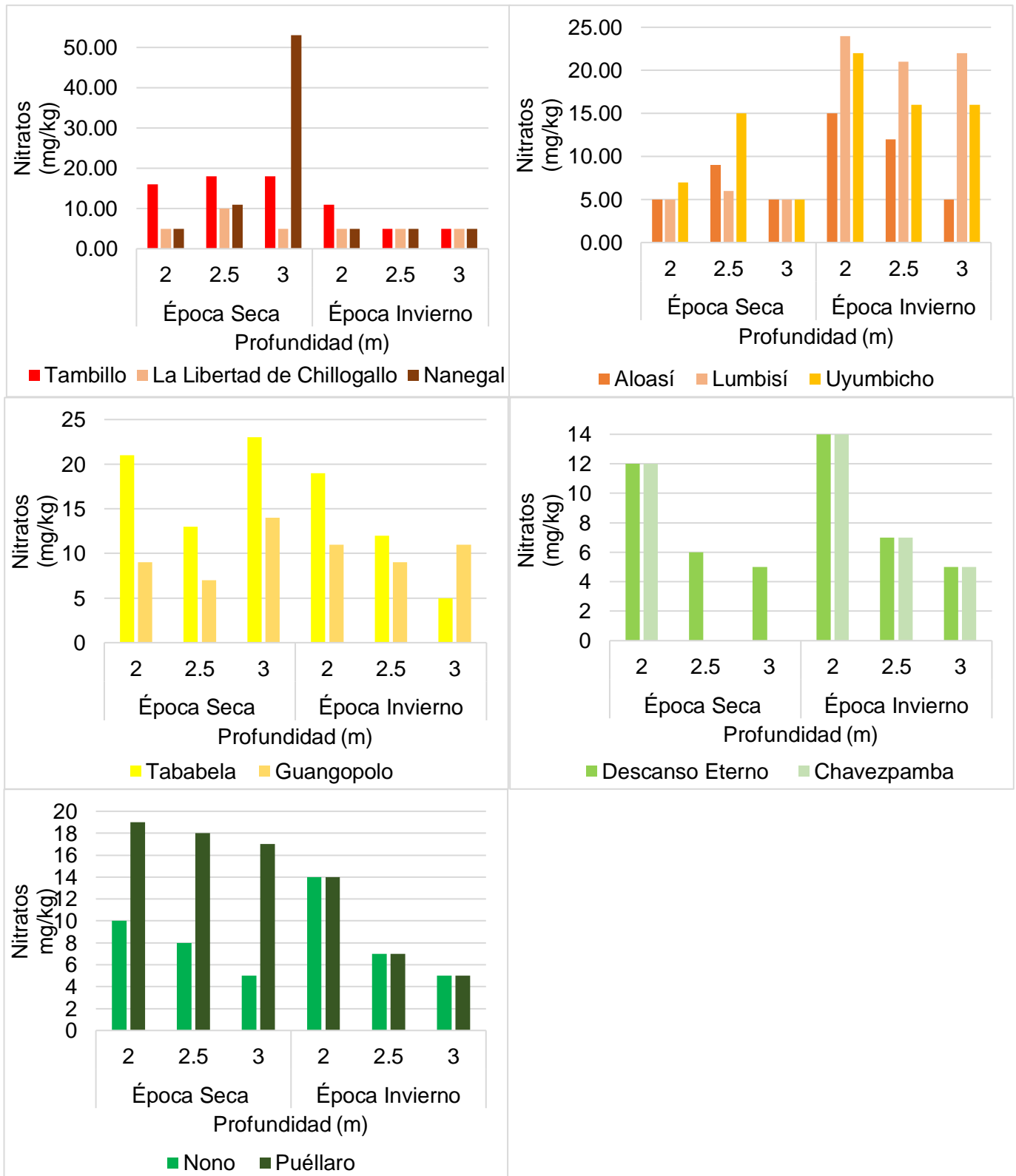


Figura 21. Concentración de los nitratos obtenidos en el punto de muestreo dentro de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

Luego, se encuentra la Figura 22 con los gráficos de la concentración de nitratos determinada después de los cementerios:

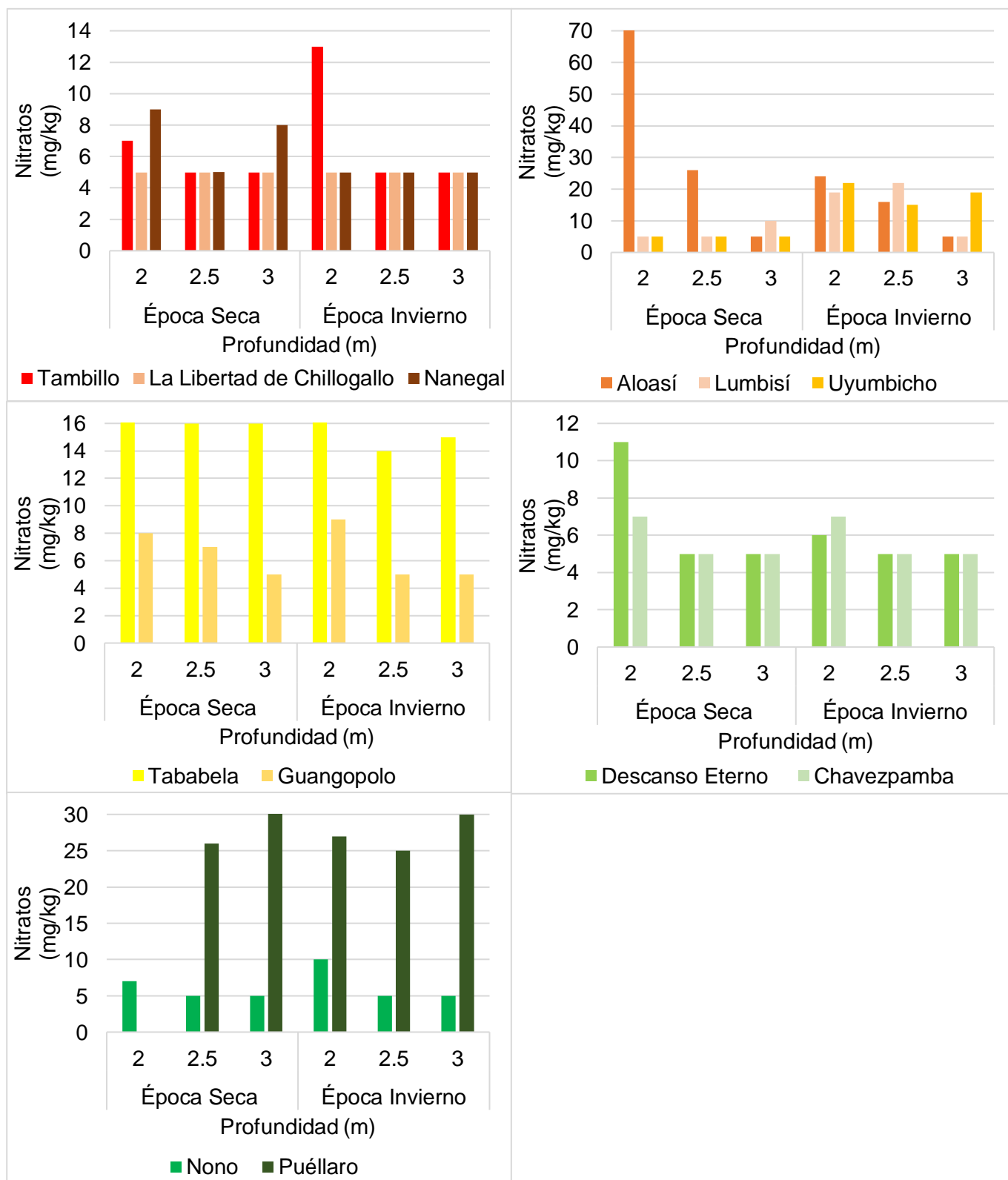


Figura 22. Concentración de los nitratos obtenidos en el punto de muestreo después de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las tres profundidades.

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

De acuerdo con las Figuras 20, 21 y 22, se observó que en la categoría de los cementerios críticos en la época de invierno la concentración de nitratos fue menor que la concentración en la época seca, lo cual significa que pudo haberse lixiviado este parámetro ya que al menos en Tambillo y La libertad de Chillogallo si hubo la presencia de precipitaciones a comparación de los demás cementerios también tiene que ver que la textura en esta categoría en base a la Tabla 3 está compuesta por arcilla y arena por lo que permite que haya infiltración del lixiviado además que conforme la Tabla 2 la pendiente de estos cementerios varía entre moderadamente escarpado y fuertemente inclinada lo que facilita la descarga del lixiviado.

Por el contrario, lo que sucedió en los cementerios de la categoría completamente adecuados que en el punto de muestro dentro del cementerio si bien había una mayor concentración en la época sea esta disminuyó en la época de invierno, sin embargo, en el punto de muestreo después del cementerio los valores de Puéllaro se dispararon en el invierno a diferencia de los otros puntos de muestreo.

En conformidad con un estudio realizado en suelos de dos cementerios en Bogotá, Colombia se encontraron cantidades representativas de nitratos a las profundidades de 1,8 m y 2 m en Jardines del Recuerdo con 0,23 mg/kg, siendo el cementerio con mayor cantidad de nitratos seguido por la Inmaculada con 0,21 mg/kg (Velasco & Minota, 2012). Realizando un análisis de los resultados obtenidos de nitratos en los puntos de muestreo antes de los cementerios de Pichincha con respecto a los cementerios colombianos son más altos en esas profundidades ya que varían las condiciones características.

3.1.2.3 Comparación de la concentración de metales

A continuación, se presenta la Figura 23 con los resultados obtenidos de cromo obtenidas antes del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno:

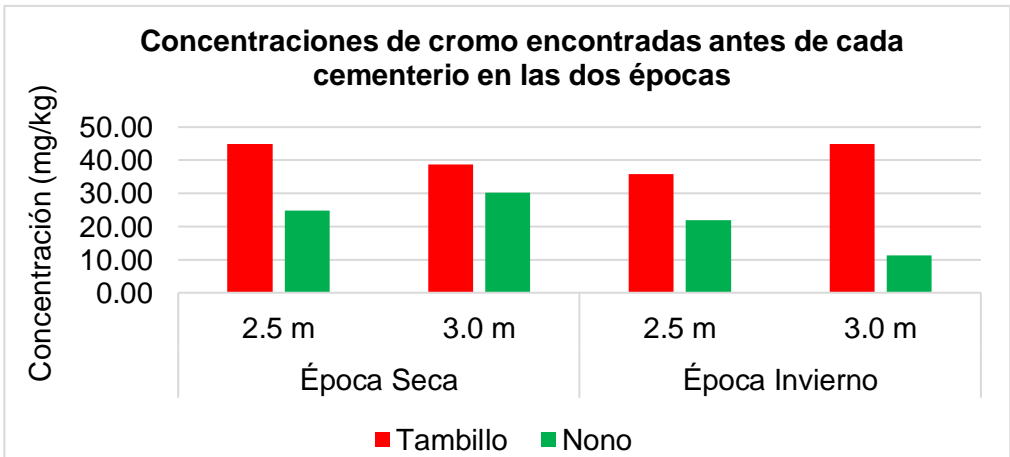


Figura 23. Concentración de los nitratos en el punto de muestro después de cada cementerio perteneciente a las cinco categorías en las profundidades. De 2.5 m y 3 m. **Elaborado por:** Quishpe, B (2024).

En la Figura 23, se observa como las concentraciones de cromo es mayor en el cementerio de Tambillo que en Nono, para las dos épocas. Esto es debido a que Tambillo es perteneciente a la categoría de los cementerios críticos en cambio Nono es considerado moderadamente adecuado por lo que la presencia de cromo en Nono debe ser considerablemente menor. Además, es notorio que, en el caso del cementerio de Tambillo en la época seca, la cantidad de cromo disminuye conforme aumenta la profundidad mientras que para Nono estas cantidades aumentan, pero en la época de invierno en cambio se da una relación inversa, es decir que para Tambillo la cantidad de cromo aumenta conforme aumenta la profundidad y en cambio para Nono disminuye el cromo mientras más profundo sea.

Seguidamente, se presenta la Figura 24 con los resultados obtenidos plomo obtenido antes del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno:

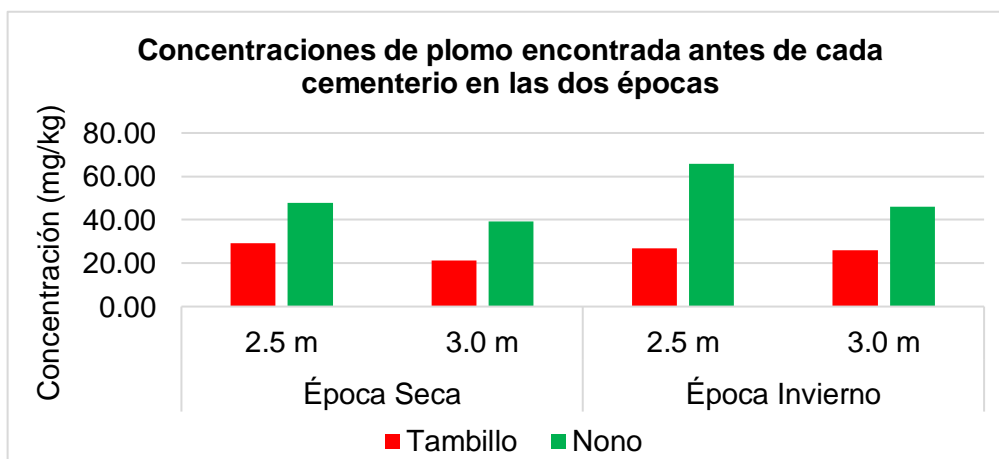


Figura 24. Concentraciones de plomo obtenida antes del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno.

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

En la Figura 24, es posible evidenciar que antes del cementerio existe mayor cantidad de plomo en el cementerio de Nono en ambas épocas, alcanzando la mayor concentración de plomo en la época de invierno a una profundidad de 2.5 m de 65,67 mg/kg. En cambio, en el cementerio de Tambillo, existe una disminución de este metal conforme disminuye las profundidades en ambas épocas, alcanzando una concentración máxima de este metal de 29,30 mg/kg en la profundidad de 2.5 m en la época seca. En base a Gómez et al. (2022) que exista mayor presencia de plomo a la profundidad de 2.5 m es lo que se esperaba ya que a esta profundidad es donde se encuentran enterrados los cuerpos por tanto la descomposición en mayor proporción se da en esta profundidad.

Más adelante, en la Figura 25 se presenta los resultados obtenidos como obtenida dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno:

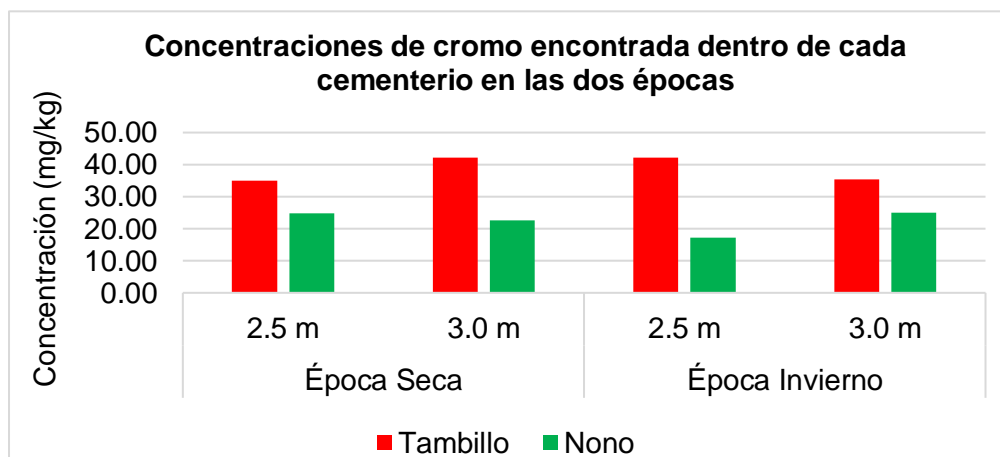


Figura 25. Concentraciones de cromo obtenida dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno. **Elaborado por:** Quishpe, B (2024).

En la Figura 25, se obtuvo que las concentraciones de cromo dentro del cementerio son más altas que dentro del cementerio de Nono, por lo que es lo esperado debido a que Tambillo es un cementerio crítico, cuyo valor máximo de cromo es 42,16 mg/kg obtenido tanto en la época seca como en invierno, pero a diferentes profundidades de 3 m y 2.5 m correspondientemente. En cambio, para Nono la concentración máxima obtenida es de 24,96 mg/kg en la época de invierno.

Acto seguido, en la Figura 26 se tiene las concentraciones determinadas de plomo dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno:

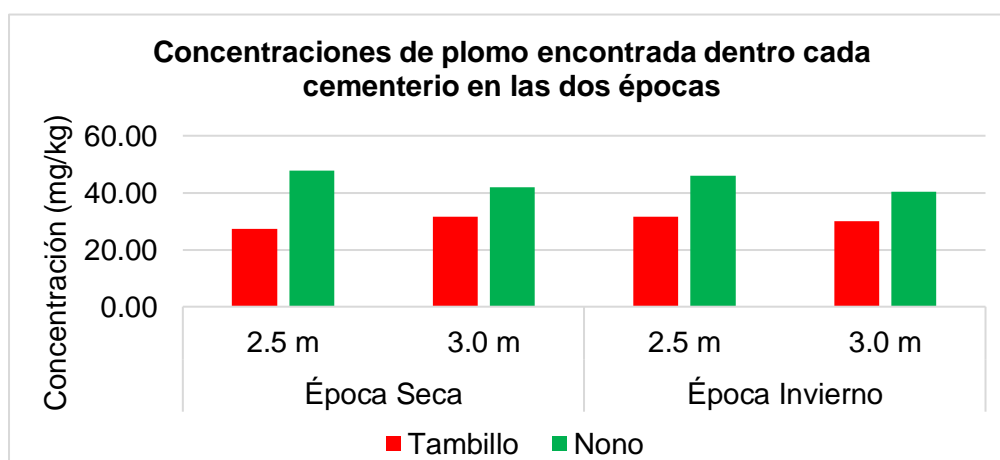


Figura 26. Concentraciones de plomo obtenida dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5m y 3m, en la época seca y de invierno.

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

En la Figura 26, similar a la Figura 24 de las concentraciones de plomo antes del cementerio se obtuvo que en el cementerio de Nono existe mayor concentración de este metal que en el cementerio de Tambillo cuya concentración máxima es de 47,74 mg/kg en la profundidad de 2.5 m en la época seca mientras que la concentración máxima de este metal en el cementerio de Tambillo es de 31,62 mg/kg tanto en las dos épocas.

En un estudio realizado por Neckel et al. (2021) se consideró muestras de suelo de tres cementerios en Carazinho, Brasil donde se determinó que el plomo encontrado fue de 88,2 mg/kg, 82,7 mg/kg y 80,3 mg/kg superando el valor límite establecido de 72 mg/kg por los criterios de la normativa brasileña por tanto es evidente que existe plomo en los suelos de los cementerios cuya probabilidad de llegar a contaminar las aguas subterráneas es alta. Y en un estudio más reciente realizado por Neckel et al. (2023) en el sur de Brasil, se encontraron que en cinco suelos de cementerios tanto in situ como fuera del establecimiento excedieron el valor límite propuesto por la legislación brasileña tomando valores hasta alrededor de 110 mg/kg por lo que en relación con los resultados que se obtuvieron en los cementerios analizados de este trabajo son extremadamente altos, sin embargo los valores de plomo encontrados en los cementerios de Pichincha no son tan altos pero de igual manera tanto dentro del establecimiento como después de él, excedieron el valor permitido en la normativa ecuatoriana de 19 mg/kg por lo que en ambos países es evidente la contaminación de este parámetro y es probable que exista una contaminación en aguas subterráneas en especial en el cementerio de Tambillo que en todos los puntos de muestreo hay una cantidad excedente de este parámetro.

3.2 CONCLUSIONES

Se concluye que en las dos temporadas tanto de invierno como de verano se caracterizaron alrededor de 117 muestras mediante los ensayos realizados en el laboratorio de tal manera que se determinó la materia orgánica, nitratos, pH, textura y metales de cada una de las muestras por lo que mediante los resultados obtenidos se logró evaluar el nivel de contaminación existe en los 12 cementerios estudiados.

Se determinó que en los suelos de los cementerios existe una cantidad considerable de materia orgánica debido a la descomposición de los cadáveres especialmente en los cementerios de las categorías críticos y moderadamente adecuados, con un porcentaje de materia orgánica alrededor del 5% que de acuerdo con la normativa mexicana representa un bajo contenido de materia orgánica.

En base a los resultados obtenidos de los metales, se consideró que existe contaminación tanto en el suelo del cementerio de Tambillo como de Nono, sin embargo, existe un mayor nivel de contaminación por plomo en el de Tambillo por lo que concuerda con la clasificación

de ser un cementerio que no cuenta con las condiciones óptimas por tanto es probable que haya una contaminación en los cuerpos de agua subterráneos.

Conforme a la alta variabilidad de los resultados obtenidos en ambas épocas de los parámetros de materia orgánica y nitratos y por las diferentes características que presentan los suelos entre sí, no se logró visualizar una tendencia marcada y clara del nivel de contaminación que existe entre ambas épocas, sin embargo en casos específicos como por ejemplo en el cementerio de Tambillo se observó que casi en la totalidad de las muestras disminuyó la concentración de materia orgánica de verano a invierno, lo que significa que debido a las precipitaciones el lixiviado tuvo que haber sido arrastrado por el agua.

3.3 RECOMENDACIONES

Es importante que para la toma de muestras se realice previamente un plan de muestreo y se corrobore tanto mediante aplicaciones geoespaciales como en campo la ubicación de los puntos exactos de muestreo, de tal manera que se asegure que tres puntos antes, en y después del sitio vayan conforme a la caída la pendiente. Así como también asegurarse que la distancia dentro de cementerio sea la misma que se considere para todos los puntos dentro de los cementerios.

Debido a que las muestras se realizan mínimo en dos épocas seca y lluviosa, se debe considerar cualquier fenómeno natural que interfiera en el cambio de temperaturas del área de estudio durante el tiempo que se haya planificado la investigación, de tal manera que exista una diferencia notoria entre la variabilidad de temperaturas en las dos épocas.

Se recomienda, buscar información actualizada de los cementerios a estudiarse con lo que respecta a la cantidad de entierros, los años en que se han realizado y la profundidad en que se realizan los nichos, ya que es necesario que para la toma de muestras dentro del cementerio se considere entierros entre 1 y 10 años que tarda en descomponerse un cuerpo, por tanto, va a existir mayor presencia de contaminantes.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcântara, L., Dos Santos, S., Da Cunha, P., & Ferreira, R. (2010). Contamination of Natural Resources by Necropolis. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/333194473_CONTAMINATION_OF_NATURAL_RESOURCES_BY_NECROPOLIS
- Araujo, T. M., Nascimento, V. o. D., Printes, V. H., Da Silva, M. T., & De Lima, R. Q. (2020). Fatores associados à contaminação do solo:Decomposição, tratamento de cadáveres e materiais funerários/ factors associated with soil contamination:Decomposition, treatment of corpses and funeral materials. *Brazilian Journal Of Health Review*, 3(6), 18145-18157. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n6-213>
- Arcos, E. (2020). *Identificación de zonas ambientalmente no adecuadas para la ubicación de camposantos en los cantones Mejía, Quito y Rumiñahui* [Tesis de grado]. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Carter, D., Yellowlees, D., & Tibbett, M. (2010). Moisture can be the dominant environmental parameter governing cadaver decomposition in soil. *Forensic Science International*, 200(1-3), 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.03.031>
- Crisanto-Perrazo, T., Guayasamín-Vergara, J., Mayorga-Llerena, E., Sínde-González, I., Vizuete-Freire, D., Toulkeridis, T., Gómez, G. F., & Fierro-Naranjo, G. (2022). Determination of Empirical Environmental Indices for the location of Cemeteries—An Innovative Proposal for worldwide use. *Sustainability*, 14(10), 6284. <https://doi.org/10.3390/su14106284>
- Da Cruz, N. J. T., Lezana, Á. G. R., Da Cruz Freire Dos Santos, P., Pinto, I. M. B. S., Zancan, C., & De Souza, G. H. S. (2017). Environmental impacts caused by cemeteries and crematoria, new funeral technologies, and preferences of the northeastern and southern Brazilian population as for the funeral process. *Environmental Science And Pollution Research*, 24(31), 24121-24134. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0005-3>
- Da Cunha Kemerich, P. D., Da Silva, J. L. S., De Borba, W. F., Flores, C., Barros, G., Gerhardt, A. E., Rodrigues, A. P., Da Silva, R. F., Flores, B. A., & Ucker, F. E. (2014).

- Concentrações de metais em solo ocupado por cemitério - Uso da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva - EDXRF. *Revista Monografias Ambientais*, 13(1), 2875-2889. <https://doi.org/10.5902/2236130810931>
- Gómez, G. F., Crisanto-Perrazo, T., Toulkeridis, T., Fierro-Naranjo, G., Guevara-García, P., Mayorga-Llerena, E., Vizueté-Freire, D., Salazar, E., & Sínde-González, I. (2022). Proposal of an initial environmental management and land use for critical cemeteries in Central Ecuador. *Sustainability*, 14(3), 1577. <https://doi.org/10.3390/su14031577>
- Harris, D. (2016). *Análisis químico cuantitativo Harris* (6.ª ed.). Reverté, S. A. https://www.academia.edu/44086924/Analisis_Qu%C3%ADmico_Cuantitativo_Harris
- INEC. (2022). *Censo Ecuador*. <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2023). *Boletín de Predicción Climática. Septiembre 2023-Noviembre 2023*. <https://inamhi.website/clima/>
- Itodo, A. U., Eneji, I. S., Agbendeh, Z. M., & Kormi, A. A. (2021). ESTIMATION OF EMBALMING CONTAMINANTS IN SOIL AND GROUNDWATER SAMPLES FROM CEMETERY LEACHATES IN MBAIORBO, MBADIM-MBATIAV LEACHFIELD IN GBOKO, NIGERIA. *Bulletin Of The Chemical Society Of Nigeria*, 46(3). <https://doi.org/10.46602/jcsn.v46i3.624>
- Jonker, C. Z., & Olivier, J. (2012). Mineral contamination from cemetery soils: case study of Zandfontein Cemetery, South Africa. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 9(2), 511-520. <https://doi.org/10.3390/ijerph9020511>
- Julca, G. M. (2016). Descomposición cadavérica y determinación del intervalo Post-Mortem. *Skopein: La Justicia En Manos de la Ciencia*, 12, 5. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5559749.pdf>
- Miller, A., & Wiens, M. (2017). Cemetery setback distances to prevent surface water contamination. *National Collaborating Centre For Environmental Health*. https://ncceh.ca/sites/default/files/Cemetery_setback_distances_surface_water_contamination-Oct_2017.pdf#:~:text=Outside%20of%20Canada%2C%20the%20Scottish%20Enviro

nmental%20Protection%20Agency,and%20groundwater%20monitoring%20for%20co
ntaminants%20should%20be%20undertaken.

Ministerio de la Salud Pública del Ecuador. (2013). *Reglamento para regular el funcionamiento de los establecimientos que prestan servicios*. <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-establecimiento-de-servicios-funerarios-y-manejo-de-cada%CC%81veres.pdf>

Ministerio de la Salud Pública del Ecuador. (2018). *Reglamento Establecimientos Servicios Funerarios y Manejo Cadáveres*. <https://www.controlsanitario.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-establecimiento-de-servicios-funerarios-y-manejo-de-cada%CC%81veres.pdf#:~:text=Art.%201.-%20El%20presente%20Reglamento%20tiene%20por%20objeto,los%20establecimientos%20que%20prestan%20servicios%20funerarios..%20Art.%202.->

Ministerio del Ambiente. (2015). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE* (2.^a ed.). https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

Mosquina, R. (2020). *Determinación de trazas de metales pesados en suelos agrícolas regados con lixiviados de cementerio a partir de comparaciones* [Tesis de grado]. Universidad César Vallejo.

Neckel, A., Gonçalves, A., Ribeiro, L., & Oliveira, C. (2016). Cemeteries heavy metals concentration analysis of soils and the contamination risk for the surrounding resident population. *International Journal Of Engineering Research And Applications*, 6, 30-35. <https://www.semanticscholar.org/paper/Cemeteries-heavy-metals-concentration-analysis-of-Neckel-J%C3%BAnior/925a7174e07f797f09169a969c44f88f723978a2>

Neckel, A., Korcelski, C., Silva, L., Kujawa, H. A., Bodah, B. W., Figueiredo, A. M. R., Maculan, L. S., Gonçalves, A. C., Bodah, E. T., & Moro, L. D. (2021). Metals in the soil of urban cemeteries in Carazinho (South Brazil) in view of the increase in deaths from COVID-19: Projects for cemeteries to mitigate environmental impacts. *Environment*,

Development And Sustainability, 24(9), 10728-10751. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01879-y>

Neckel, A., Toscan, P. C., Kujawa, H. A., Bodah, B. W., Korcelski, C., Maculan, L. S., De Almeida, C. C. O., Gonçalves, A. C., Snak, A., Moro, L. D., & Silva, L. (2023). Hazardous elements in urban cemeteries and possible architectural design solutions for a more sustainable environment. *Environmental Science And Pollution Research*, 30(17), 50675-50689. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25891-z>

Olivares, G. (2016, 1 junio). *Procesos de descomposición en restos enterrados a baja profundidad en el Valle del Maipo, Región Metropolitana, Chile una aproximación tafonómica y entomológica*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2454997>

Oliveira, B., Quinteiro, P., Caetano, C., Nadais, H., Arroja, L., Da Silva, E. F., & Matias, M. S. (2012). Burial grounds' impact on groundwater and public health: an overview. *Water And Environment Journal*, 27(1), 99-106. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00330.x>

Oliveira, K. F. (2015). *Cemitérios como fonte potencialmente poluidoras*. http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/15309/1/MD_GAMUNI_I_2014_68.pdf

Osorio, N. (2012, 30 abril). *pH del suelo y disponibilidad de nutrientes*. <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>

Puentes, D., & Rey, J. (2021, 22 abril). *Evaluación del riesgo ambiental sobre los suelos del Cementerio San Luis María de Montfort del municipio de Acacias-Meta*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33876>

Rodrigues, L., & Pacheco, A. (2010). *Groundwater contamination from cemeteries cases of study*. https://www.researchgate.net/publication/228511798_Groundwater_contamination_from_cemeteries_cases_of_study

- Secretaría de Medio Ambiente. (2000). *Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. <https://es.slideshare.net/uvasonia/nom-021semarnat2000-suelos>
- Silva, A., Rodrigues, C., Aparecida, C., & Davanço, L. (2020). *A ATIVIDADE CEMITERIAL COMO FONTE DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO*. <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2020/XI-029.pdf>
- Soriano, M. (2018). *pH del suelo* [Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102382/Soriano%20-%20pHdel%20suelo.pdf?sequence=1>
- Tudor, C. A., Iojă, I. C., Hersperger, A. M., & Pătru-Stupariu, I. (2013). IS THE RESIDENTIAL LAND USE INCOMPATIBLE WITH CEMETERIES LOCATION? ASSESSING THE ATTITUDES OF URBAN RESIDENTS. *Carpathian Journal Of Earth And Environmental Sciences*, 8(2), 153-162. https://www.researchgate.net/profile/Cristian_loja/publication/253651351_Is_the_Residential_Land_Use_Incompatible_with_Cemeteries_Location_Assessing_the_Attitudes_of_Urban_Residents/links/53d5498b0cf220632f3d5630.pdf
- Velasco, A., & Minota, Y. (2012, 30 mayo). EVALUACIÓN POR CONTAMINACIÓN EN SUELOS ALEDAÑOS A LOS CEMENTERIOS JARDINES DEL RECUERDO E INMACULADA. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 22-1, 165-175.
- World Bank Open Data. (2023). World Bank Open Data. <https://datos.bancomundial.org/indicador/sp.pop.grow?locations=EC>

5 ANEXOS

ANEXO I. Clasificación del porcentaje de pendiente por la FAO.

Tabla 1.

Clasificación del porcentaje de pendiente por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Descripción	% Pendiente
Plano	0-0,2
Nivel	0,2-0,5
Cercano al nivel	0,5-1,0
Muy ligeramente inclinado	1,0-2,0
Ligeramente inclinado	2-5
Inclinado	5-10
Fuertemente inclinado	10-15
Moderadamente escarpado	15-30
Escarpado	30-60
Muy escarpado	>60

Figura 27. Clasificación del porcentaje de pendiente por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Fuente: Arcos (2020).

ANEXO II. Criterios de calidad del suelo de acuerdo con la Norma de Calidad Ambiental de Recurso Suelo y Criterios de Remediación para los suelos contaminados-Anexo 2.

Parámetro	Unidades*	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*

Parámetros inorgánicos		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60

Parámetros orgánicos		
Benceno	mg/kg	0.03
Clorobenceno	mg/kg	0.1
Etilbenceno	mg/kg	0.1
Estireno	mg/kg	0.1
Tolueno	mg/kg	0.1
Xileno	mg/kg	0.1
PCBs	mg/kg	0.1
Clorinados Alifáticos (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0.05
Hexaclorociclohexano	mg/kg	0.01
Fenólicos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	<150
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) cada tipo	mg/kg	0.1

Figura 28. Criterios de calidad de la Norma de Calidad Ambiental de Recurso Suelo y Criterios de Remediación para los suelos contaminados.

Fuente: Ministerio del Ambiente (2015).

ANEXO III. Criterios según USDA para la clasificación del suelo en función del pH.

Valor del pH	Calificativo
pH < 5	Fuertemente ácido
5 ≤ pH < 6	Francamente ácido
6 ≤ pH < 6,6	Ligeramente ácido
6,6 ≤ pH ≤ 7,3	Neutro
7,3 < pH ≤ 7,7	Ligeramente básico
7,7 < pH	Básico

Figura 29. Criterios según USDA para la clasificación del suelo en función del pH.

Fuente: Soriano (2018).

ANEXO IV. Criterios según la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000 para la clasificación del suelo en función de la materia orgánica.

Clase	Materia orgánica (%)
Suelos volcánicos	
Muy bajo	< 4.0
Bajo	4.1 - 6.0
Medio	6.1 - 10.9
Alto	11.0 - 16.0
Muy Alto	> 16.1

Figura 30. Criterios según la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT 2000 para la clasificación del suelo en función de la materia orgánica.

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente (2000).

ANEXO V. Tablas para realizar las gráficas de los resultados de cromo y plomo obtenidas antes y dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno

Tabla 20. Resultados de cromo obtenidas antes del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno

Profundidad	Época Seca		Época Invierno	
	2.5 m	3.0 m	2.5 m	3.0 m
Tambillo	44,92	38,70	35,91	44,92
Nono	24,78	30,23	21,89	11,27

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

Tabla 21. Resultados de cromo obtenidas antes del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno

Profundidad	Época Seca		Época Invierno	
	2.5 m	3.0 m	2.5 m	3.0 m
Tambillo	29,30	21,11	26,93	25,96
Nono	47,79	39,13	65,67	46,07

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

Tabla 22. Resultados de plomo obtenidas dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno

Profundidad	Época Seca		Época Invierno	
	2.5 m	3.0 m	2.5 m	3.0 m
Tambillo	35,00	42,16	42,16	35,33
Nono	24,82	22,67	17,27	24,96

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

Tabla 23. Resultados de plomo obtenidas dentro del cementerio de Tambillo y Nono, en las profundidades de 2.5 m y 3 m, en la época seca y de invierno

Profundidad	Época Seca		Época Invierno	
	2.5 m	3.0 m	2.5 m	3.0 m
Tambillo	27,22	31,62	31,62	30,03
Nono	47,74	41,85	46,07	40,32

Elaborado por: Quishpe, B (2024).

ANEXO VI. Evidencias fotográficas de los muestreos



Figura 31. Punto de muestreo dentro del cementerio de Tambillo.
Tomada por: Quishpe, B (2023).



Figura 32. Punto de muestreo dentro del cementerio de La Libertad de Chilligallo.
Tomada por: Quishpe, B (2023).



Figura 33. Punto de muestreo antes del cementerio de Aloasí.
Tomada por: Quishpe, B (2023).



Figura 34. Punto de muestreo dentro del cementerio de Guangopolo.
Tomada por: Quishpe, B (2023).



Figura 35. Punto de muestreo dentro del cementerio de Uyumbicho.
Tomada por: Quishpe, B (2023).



Figura 36. Punto de muestreo dentro del cementerio de Nanegal.
Tomada por: Quishpe, B (2023).



Figura 37. Punto de muestreo dentro del cementerio de Nanegal.
Tomada por: Quishpe, B (2023).



Figura 38. Punto de muestreo dentro del cementerio de Puéllaro.
Tomada por: Quishpe, B (2023).

ANEXO VII. Ejemplo de la cadena de custodia y registro utilizada para el control del muestreo

CONTROL INTERNO DEL MUESTREO
CADENA DE CUSTODIA Y REGISTRO DE TOMA DE MUESTRA DE CAMPO

Acta de Visita Núm: 05		Fecha: 06/08/2023		Lugar de muestreo / Cementerio: Lumbisí		Código de identificación: 05		
Cantón / Parroquia:			Tipo de muestra:	Compuesta	Puntual	<input checked="" type="checkbox"/> Temperatura Ambiente:	15 °C	
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA								
Muestra #	Tipo Envase	Peso (Kg)	Parámetros a analizar	Coordenadas (m)		Hora	Profundidad (m)	Detalles del punto de toma
ES-4	Plástico		Nitrito, NO ₂ , pH, fecal coliformes, turbidez	X: 783520	Y: 9974289	16:09	2m	Existe vacío de 30cm
ES-5	"		"	X: "	Y: "	16:15	2.5	
ES-6	"		"	X: "	Y: "	16:21	3	Se espera buen resultado, presencia de material seco
AS-1	"		"	X: 783514	Y: 9974292	16:47	2m	Presencia de vacío de 30cm
AS-2	"		"	X:	Y:	16:54	2.5	Se recogió solo 100g de muestra. Existe vacío (foto)
AS-3	"		"	X:	Y:	17:00	3	Hay restos de madera, se recoge entre 100-150g
DS-7	"		"	X: 783553	Y: 9974284	17:30	2	
DS-8	"		"	X:	Y:	17:37	2.5	
DS-9	"		"	X:	Y:	17:48	3	
Observaciones:				Equipos:				
Responsable de toma de muestras			Responsable transporte			Responsable Almacenamiento		
Nombre: Silvana Santas			Nombre: Viviana Abad			Nombre: Retzabeth Quishpe		
Firma: <i>[Firma]</i>			Firma: <i>[Firma]</i>			Firma: <i>[Firma]</i>		
Recibido por:		Nombre:		Revisado por:		Nombre:		
		Firma:				Firma:		
		Fecha:				Fecha:		
		Hora:				Hora:		

Figura 39. Cadena de custodia y registro utilizado para el control de la toma de muestras en el cementerio de Lumbisí.
Elaborado por: Quishpe, B (2023).